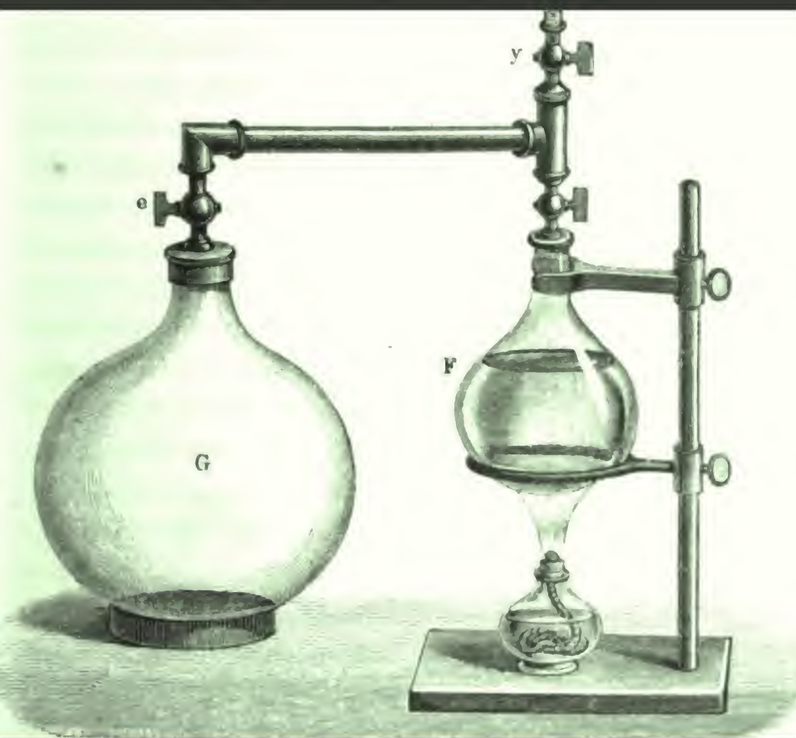
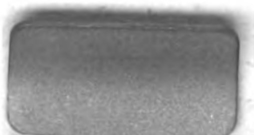


Die Wärme betrachtet als eine Art der Bewegung

John Tyndall



<36633520370010

DIE WÄRME

BETRACHTET ALS EINE

ART DER BEWEGUNG

VON

JOHN TYNDALL,
Mitglied der Royal Society, Professor der Physik an der Royal Institution
und an der Bergwerksschule zu London.

AUTORISIRTE DEUTSCHE AUSGABE

HERAUSGEGEBEN

DURCH

H. HELMHOLTZ UND G. WIEDEMANN

NACH DER

ZWEITEN AUFLAGE

DES

ORIGINALS.



MIT 106 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN
UND EINER TAFEL.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.
1867.

ANKÜNDIGUNG.

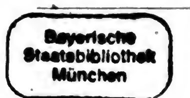
Der als einer der grössten Meister populärer wissenschaftlicher Darstellung ebenso wie als selbständiger Forscher berühmte Verfasser spricht sich über Zweck und Inhalt seines Werkes folgendermassen aus:

„In den folgenden Vorträgen habe ich den Versuch gemacht, die Grundlinien einer neuen allgemeinen Naturanschauung für das Verständniss eines grösseren Kreises gebildeter Leser zugänglich zu machen.

Die sieben ersten Vorträge dieser Folge behandeln die thermometrische Wärme, ihre Erzeugung und ihren Verbrauch bei mechanischen Vorgängen; die Bestimmung des mechanischen Aequivalentes der Wärme; die Auffassung der Wärme als Molekularbewegung; die Anwendung dieser Auffassung auf den festen, flüssigen und gasförmigen Zustand der Materie; die Ausdehnung und Verbrennung; die specifische und die latente Wärme, und die Wärmeleitung.

Die fünf übrigen Vorträge handeln von der strahlenden Wärme; vom Medium des Weltraumes und der Verbreitung der Bewegung durch dieses Medium; von dem Verhältniss der strahlenden Wärme zu der gewöhnlichen Materie in ihren verschiedenen Aggregatzuständen; von den Strahlungen der Erde, des Mondes und der Sonne; von der Beschaffenheit der Sonne und den möglichen Ursachen ihrer Kraftleistung; von dem Verhältniss dieser Leistung zu den irdischen Kräften und zu dem pflanzlichen und thierischen Leben.

Ich habe mich bestrebt, bei der Besprechung dieser Fragen keinerlei sachliche Vorkenntnisse vorauszusetzen, damit mir jeder Leser unter Anwendung von einiger Einbildungskraft und Aufmerksamkeit zu folgen im Stande sei."



DIE WÄRME

BETRACHTET ALS EINE

ART DER BEWEGUNG.

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

DIE WÄRME

BETRACHTET ALS EINE

ART DER BEWEGUNG

VON

JOHN TYNDALL,
Mitglied der Royal Society, Professor der Physik an der Royal Institution
und an der Bergwerksschule zu London.

AUTORISIRTE DEUTSCHE AUSGABE

HERAUSGEGEBEN

DURCH

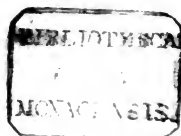
H. HELMHOLTZ UND G. WIEDEMANN

NACH DER

ZWEITEN AUFLAGE DES ORIGINALS.

MIT 106 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN
UND EINER TAFEL.

BRAUNSCHWEIG,
DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.
1867.



DIESES BUCH

IST

SEINEM FREUNDE UND LEHRER

ROBERT BUNSEN

GEWIDMET

VON

JOHN TYNDALL.

1865.

VORREDE

ZUR

ERSTEN AUFLAGE.

In den folgenden Vorträgen habe ich den Versuch gemacht, die Grundlinien einer neuen allgemeinen Naturanschauung für das Verständniss eines grösseren Kreises gebildeter Leser zugänglich zu machen.

Die sieben ersten Vorträge dieser Folge behandeln die thermometrische Wärme, ihre Erzeugung und ihren Verbrauch bei mechanischen Vorgängen; die Bestimmung des mechanischen Aequivalentes der Wärme; die Auffassung der Wärme als Molekularbewegung; die Anwendung dieser Auffassung auf den festen, flüssigen und gasförmigen Zustand der Materie; die Ausdehnung und Verbrennung; die specifische und die latente Wärme, und die Wärmeleitung.

Die fünf übrigen Vorträge handeln von der strahlenden Wärme; vom Medium des Welt-

raumes und der Verbreitung der Bewegung durch dieses Medium; von dem Verhältniss der strahlenden Wärme zu der gewöhnlichen Materie in ihren verschiedenen Aggregatzuständen; von den Strahlungen der Erde, des Mondes und der Sonne; von der Beschaffenheit der Sonne und den möglichen Ursachen ihrer Kraftleistung; von dem Verhältniss dieser Leistung zu den irdischen Kräften und zu dem pflanzlichen und thierischen Leben.

Ich habe mich bestrebt, bei der Besprechung dieser Fragen keinerlei sachliche Vorkenntnisse vorauszusetzen, damit mir jeder Leser unter Anwendung von einiger Einbildungskraft und Aufmerksamkeit zu folgen im Stande sei.

Wo mir Zusätze zur Erweiterung der Kenntnisse des Lesers über die in den Vorträgen berührten Gegenstände wünschenswerth erschienen, habe ich dieselben als Anhang zu den Kapiteln hinzugefügt.

Der Vorstand der Royal Society erlaubte mir die am Schlusse des Bandes befindliche Tafel zu benutzen; dieselbe war früher als Erläuterung zu einigen meiner Abhandlungen in den „Philosophical Transactions" gestochen worden; auch einige der Holzschnitte verdanke ich dieser gelehrten Gesellschaft.

Dem gelehrten Publicum sind die Namen der Gründer dieser neuen Theorie bereits geläufig.

Rumford, Davy, Faraday und Joule sind als Experimentatoren in erster Linie zu nennen. Als theoretische Schriftsteller haben wir (der alphabetischen Ordnung nach) Clausius, Helmholtz, Kirchhoff, Mayer, Rankine und Thomson, deren Abhandlungen ein Jeder studiren sollte, der eine gründliche Kenntniss obiger Gegenstände wünscht. Auch Regnault und Séguin nehmen in Beziehung auf die mechanische Wärmetheorie einen ehrenvollen Platz ein; Verdet hat kürzlich zwei Vorträge über diesen Gegenstand veröffentlicht, welche sich durch seine bekannte umfassende Gelehrsamkeit auszeichnen. Dem englischen Leser gegenüber brauchen wir wohl kaum des bekannten und hochgeschätzten Werkes von Grove Erwähnung zu thun*).

Ich habe die Wärmetheorie eine neue allgemeine Naturanschauung genannt, ohne mich jedoch dabei auf die Wärmelehre allein beschränken zu wollen. Eine solche Beschränkung ist in der That nicht möglich; denn der Zusammenhang dieses Agens mit den übrigen Naturkräften ist ein so inniger, dass wir sie alle beherrschen, indem wir Herr des einen werden. Wir können jetzt

*) Ich muss hier der schönen Versuche von Herrn Favre gedenken, ebenso eines in Beziehung auf den Inhalt des dreizehnten Kapitels sehr wichtigen Versuches von Herrn Foucault, welcher im Phil. Mag. Vol. XIX. pag. 194 (Februar 1865) beschrieben ist.

schon, wenn auch nur dunkel, die Grösse der Folgen, welche aus diesem ersten Fortschritte herfliessen, erkennen; Folgen, welche gewiss die Erwartungen derjenigen weit übersteigen, durch deren Geist und Fleiss die Grundlagen unseres gegenwärtigen Wissens gelegt wurden.

Dr. Whewell hat in einem Vortrage über „den Einfluss der Geschichte der Naturwissenschaft auf die Erziehung des menschlichen Geistes“ gezeigt, dass „jeder Fortschritt in der geistigen Erziehung als eine Wirkung einer oder mehrerer naturwissenschaftlicher Entdeckungen anzusehen sei.“ Ist diese Verbindung wirklich so unumstösslich, dann werden die Gesichtspunkte über den Zusammenhang und die Wechselwirkung der Naturkräfte, sowohl der organischen als der unorganischen, der lebendigen als der physikalischen Kräfte, welche aus der Erforschung der Gesetze und Verbindungen der Wärme hervorgegangen sind und noch weiter hervorgehen werden, die geistige Bildung künftiger Zeiten wesentlich beeinflussen.

Bei dem Studium der Natur müssen zwei Elemente zusammenwirken, welche beziehungsweise der Sinnenwelt und der Gedankenwelt angehören. Wir beobachten eine Thatsache und suchen sie auf ihre Gesetze zurückzuführen, oder aber wir finden das Gesetz und suchen es durch Thatsachen zu

beweisen. Das eine ist die Theorie, das andere der Versuch: Beide werden zur praktischen Wissenschaft, wenn sie auf die Zwecke des täglichen Lebens angewendet werden. Nichts ist im Stande, ein besseres Bild von dem wohlthätigen Ineinandergreifen dieser beiden Elemente zu geben, als die Geschichte des vorliegenden Gegenstandes. Wäre die Dampfmaschine nicht erfunden worden, so ständen wir jedenfalls nicht auf der Höhe unserer gegenwärtigen theoretischen Entwicklung. Die Leistungen der Wärme in der Dampfmaschine haben in allen denkenden Geistern die Frage wachgerufen: „Was ist dieses Agens, womit wir die Kräfte der Winde, der Pferde und der Menschen ersetzen können? Wärme kann mechanische Kraft erzeugen, und mechanische Kraft kann Wärme erzeugen; etwas Gemeinsames muss demnach diesem Agens und den gewöhnlichen Formen der mechanischen Kraft zu Grunde liegen."

Nachdem diese Beziehung nachgewiesen war, konnte der menschliche Geist in seinem Streben nach Verallgemeinerung sich auch den übrigen Kräften im Weltall zuwenden, und hat wirklich dasjenige Princip aufgefunden, welches sie alle verbindet. Auf solche Weise ist die Entwicklung der Theorie durch die Triumphe der Industrie gefördert worden; auf solche Weise hat die Wechselwirkung von Gedanken und Thatsachen, von

entdeckter und angewandter Wahrheit uns gestattet, die Naturwissenschaften zu dem zu machen, was sie heute sind: nämlich zur edelsten Frucht der modernen Zeiten, obwohl man sich bis jetzt noch nicht gewöhnt hat, an sie, als die Quelle individueller und nationaler Macht, zu appelliren.

Die Berechtigung der Naturwissenschaften, als ein Mittel zur geistigen Erziehung zu dienen, wird noch immer bestritten, obwohl dieselben auf diesem Gebiete noch grössere und heilsamere Umwälzungen hervorrufen würden, als ihre Anwendung in der materiellen Welt bereits zur Folge hatte. Gewiss werden die Männer, deren edler Beruf es ist, die Bildung Englands in ein System zu bringen, es nicht gestatten, dass eine Riesenmacht mitten unter ihnen emporwachse, ohne einen praktischen Nutzen aus ihr zu ziehen. Die Wissenschaft bedarf des Schutzes jener Männer nicht, wohl aber wünscht sie deren Freundschaft unter ehrenvollen Bedingungen, um vereint mit ihnen nach dem grossen Ziele aller Erziehung — der Verbesserung der menschlichen Zustände — hinzuarbeiten. Sollte man fortfahren, die dargebotene Hand zurückzuweisen, so lässt man sich auf einen Kampf ein, der nur einen möglichen Ausgang haben kann: Die Wissenschaft muss wachsen. Ihre Entwicklung ist so nothwendig und unwiderstehlich als die Bewegung von Ebbe und Fluth oder

die des Golfstromes. Auch sie ist eine Entwicklungsphase natürlicher Kraftleistung, und als solche ist sie sicher, wenn die Zeit gekommen ist, sich die Anerkennung zu erzwingen; falls diejenigen, welche jetzt ihren Einfluss herabzusetzen und ihre Fortschritte zu hindern suchen, nicht vorziehen sollten, einen Bund mit ihr zu schliessen.

Royal Institution,

im Februar 1863.

VORREDE

ZUR

ZWEITEN AUFLAGE.

Die erste Auflage dieses Werkes gab fast wörtlich die Ausdrucksweise, welche im Hörsaale gebraucht worden war, wieder. Hätte meine Zeit es gestattet, so würde ich dieselbe gern gegen einen ernsteren Stil vertauscht haben, obwohl es zweifelhaft ist, ob die Klarheit der Auseinandersetzung dadurch gewonnen haben würde.

Die Ueberschrift „Vorträge“ wurde jedoch abgeändert und das Buch in dreizehn Kapitel eingetheilt. Ich habe versucht, einen Umriss meiner eigenen Untersuchungen über strahlende Wärme, welche seit der Veröffentlichung der ersten Auflage beendigt wurden, hineinzuarbeiten. Derjenige Theil, welcher die Erscheinungen der Lebenskraft behandelt, ist auch zum grössten Theile neu bearbeitet worden.

Royal Institution,
im Februar 1865.

INHALT.

Erstes Kapitel.

Apparate. — Erzeugung der Wärme durch mechanische Arbeit. — Wärmeverbrauch durch Arbeit . . . . Seite 1 — 21

Anhang: Anmerkung über die Construction der thermo-elektrischen Säule. — Erläuterung über die Construction des Galvanometers. Seite 22 — 29

Zweites Kapitel.

Das Wesen der Wärme. — Die materielle Theorie. — Die dynamische Theorie. — Wärmewirkung der bewegten Luft. — Wärmeerzeugung durch Drehung zwischen den Polen eines Magneten. — Versuche von Rumford, Davy und Joule. — Das mechanische Aequivalent der Wärme. — Wärmeerzeugung durch Geschosse. — Von der Wärme, die erzeugt würde durch Hemmung der Erdbewegung. — Meteorische Theorie von der Sonnenwärme. — Von der Flamme in ihrer Beziehung auf die dynamische Theorie . . . . Seite 30 — 68

Anhang: Auszüge aus dem zwanzigsten Aphorismus des zweiten Buches des Novum Organum. — Auszug aus Graf Rumford's Untersuchung über den Ursprung der Wärme, welche durch Reibung hervorgebracht wird. — Ueber das Zusammenpressen von Luft, welche Schwefelkohlenstoffdampf enthält . . . . Seite 69 — 76

Drittes Kapitel.

Ausdehnung: der feste, flüssige und luftförmige Zustand der Materie. — Hypothesen über die innere Beschaffenheit der Gase. — Ausdehnungscoëfficient. — Wärme, einem Gase bei gleichbleibendem Drucke zugeleitet. — Wärme, einem Gase bei gleichbleibendem Volumen mitgetheilt. — Mayer's Berechnung des mechanischen Aequivalents

der Wärme. — Ausdehnung der Gase ohne Abkühlung. — Absoluter Nullpunkt der Temperatur. — Ausdehnung fester und flüssiger Körper. — Anomales Verhalten von Wasser und Wismuth. — Energie der Krystallisationskraft. — Wärmeeffect bei Streckung von Drähten. — Anomales Verhalten von Kautschuk . Seite 77 — 116

Anhang: Weitere Anmerkungen über die Ausdehnung. — Das Thermometer. — Auszüge aus Sir H. Davy's erster wissenschaftlicher Abhandlung unter dem Titel: „Ueber Wärme, Licht und die Verbindungen des Lichtes" . . . . Seite 117 — 126

Viertes Kapitel.

Das Trevelyan-Instrument. — Gore's umrollende Kugeln. — Einfluss des Druckes auf den Schmelzpunkt. — Flüssigwerden und Spaltung des Eises. — Structur des Eises durch strahlende Wärme sichtbar gemacht. — Flüssige Blumen und ihr Mittelpunkt. — Mechanische Eigenschaften des von Luft befreiten Wassers. — Der Siedepunkt der Flüssigkeiten; beeinflussende Umstände. — Die Geyser in Island. Seite 127 — 163

Anhang: Auszug aus einer Vorlesung über die Schwingungen und Töne, welche durch Berührung von Körpern von verschiedener Temperatur hervorgebracht werden. — Auszug aus einer Abhandlung über einige physikalische Eigenschaften des Eises . . . . . . Seite 164 — 173

Fünftes Kapitel.

Anwendung der dynamischen Theorie auf die Erscheinungen der specifischen und latenten Wärme. — Definition der Arbeit, Arbeitsvorrath und lebendige Kraft. — Arbeitsleistung der Molekularkräfte. — Experimentelle Erläuterungen über specifische und latente Wärme. — Arbeitsäquivalente der Verbindung, Verdichtung und des Gefrierens beim Wasser. — Feste Kohlensäure. — Der sphäroidale Zustand der Flüssigkeiten. — Ein Sphäroid auf seinem eigenen Dampfe schwebend. — Das Gefrieren von Wasser und Quecksilber in einem rothglühenden Schmelztiegel . . . . Seite 174 — 215

Sechstes Kapitel.

Fortführung von erwärmter Luft. — Winde. — Obere und untere Passatwinde. — Einwirkung der Umdrehung der Erde auf die Richtung der Winde. — Einfluss wässeriger Dünste auf das Klima. — Europa als Condensator des Atlantischen Meeres. — Regen in Irland. — Der Golfstrom. — Bildung des Schnees. — Bildung des Eises aus Schnee. — Gletscher. — Erscheinungen der Gletscherbewegung. — Zusammenfrieren und Umformung des Eises durch Druck. — Ehemalige Gletscher . . . . Seite 216 — 249

Anhang: Auszug aus einer Vorlesung über das Mer-de-Glace. — Anmerkung über die Regelation der Schneekörner . . Seite 250—262.

Siebentes Kapitel.

Wärmeleitung, eine Mittheilung der Bewegung. — Gute Leiter; schlechte Leiter. — Leitungsvermögen der Metalle für Wärme. — Verhältniss des Leitungsvermögens für Wärme und Elektricität. — Einfluss der Temperatur auf die elektrische Leitung. — Einfluss der Molekularconstitution auf die Wärmeleitung. — Verhältniss der specifischen Wärme zur Wärmeleitung. — Theorie der Bekleidung: Rumford's Versuche. — Einfluss des mechanischen Gefüges auf die Wärmeleitung. — Kesselstein. — Die Sicherheitslampe. — Leitungsvermögen der Flüssigkeiten und Gase. — Versuche von Rumford und Despretz. — Abkühlender Einfluss des Wasserstoffgases. — Versuche von Magnus über das Leitungsvermögen der Gase . . . . Seite 263—308

Achtes Kapitel.

Abkühlung ein Verlust an Bewegung: wem wird diese Bewegung mitgetheilt? — Versuche über den Schall in Bezug auf diese Frage. — Versuche über das Licht in Bezug auf diese Frage. — Emissions- und Undulationstheorie. — Länge der Wellen und Zahl der Schwingungen. — Physikalische Ursachen der Farbe. — Unsichtbare Strahlen des Spectrum. — Die Wärmestrahlen jenseit des Roth. — Die chemischen Strahlen jenseit des Blau. — Erklärung der strahlenden Wärme. — Betrachtung der von ebenen und gekrümmten Flächen ausgestrahlten Wärme: dieselben Gesetze, wie die des Lichtes. — Versuch mit zwei Hohlspiegeln . . . . . Seite 309—341

Anhang: Ueber die Töne, die durch die Verbrennung von Gasen in Röhren hervorgerufen werden. — Abhandlung über akustische Versuche von Graf Schaffgotsch . . . . Seite 342—357

Neuntes Kapitel.

Gesetz der Abnahme mit der Entfernung. — Die Schallwellen sind longitudinal; die Lichtwellen transversal. — Die Moleküle verschiedener Körper theilen, wenn sie schwingen, verschiedene Mengen von Bewegung dem Aether mit. — Strahlung, die Mittheilung der Bewegung an den Aether. — Absorption, die Aufnahme der Bewegung vom Aether. — Die Oberflächen, die gut strahlen, absorbiren gut. — Eine dichte wollene Decke erleichtert die Abkühlung. — Schützender Einfluss von Goldblatt. — Die Atome der Körper wählen gewisse einzelne Wellen aus, die sie zerstören, und lassen andere hindurchgehen. — Durchsichtigkeit und Durchwärmigkeit. — Durchwärmige

Körper strahlen schwach aus. — Der Ausdruck „Qualität“ auf strahlende Wärme übertragen. — Die Strahlen, die ohne Absorption durchgehen, erwärmen nicht das Medium. — Die mächtigsten Sonnenstrahlen können durch die Luft gehen, während die Luft unter dem Gefrierpunkt bleibt. — Verhältniss der leuchtenden und dunkeln Strahlen in verschiedenen Flammen . . . . Seite 358 — 391

Anhang: Auszug aus einem Aufsatz über einige physikalische Eigenschaften des Eises . . . . Seite 392 — 407

Zehntes Kapitel.

Absorption der Wärme durch Gase. — Angewendeter Apparat. — Anfängliche Schwierigkeiten. — Diathermansie der Luft und der durchsichtigen einfachen Gase. — Athermansie (Undurchlässigkeit) des ölbildenden Gases und der zusammengesetzten Gase. — Absorption der strahlenden Wärme durch Dämpfe. — Ausstrahlung von Wärme durch Gase. — Reciprocität von Ausstrahlung und Absorption. — Einfluss der molekularen Beschaffenheit auf den Durchgang der strahlenden Wärme. — Durchgang von Wärme durch undurchsichtige Körper. — Das Wärmespectrum vom Lichtspectrum durch ein undurchsichtiges Prisma getrennt . . . . Seite 408 — 449

Anhang zum zehnten Kapitel . . . . Seite 450 — 453

Elftes Kapitel.

Wirkung wohlriechender Substanzen auf strahlende Wärme. — Wirkung von Ozon auf strahlende Wärme — Bestimmung der Ausstrahlung und Absorption der Gase und Dämpfe ohne irgend eine ausserhalb des gasförmigen Körpers liegende Wärmequelle. — Dynamische Ausstrahlung und Absorption. — Strahlung durch die Atmosphäre der Erde. — Einfluss der Wasserdämpfe der Atmosphäre auf strahlende Wärme. — Beziehung des Strahlungs- und Absorptionsvermögens der Wasserdämpfe zu den meteorologischen Erscheinungen. Seite 454 — 497

Anhang: Auszüge aus einem Vortrag: „Ueber die Strahlung durch die Atmosphäre der Erde“ . . . . Seite 498 — 507

Zwölftes Kapitel.

Absorption der Wärme durch flüchtige Flüssigkeiten. — Absorption der Wärme durch die Dämpfe dieser Flüssigkeiten bei gewöhnlichem Druck. — Absorption der Wärme durch dieselben Dämpfe, wenn die Dampfmengen den Flüssigkeitsmengen proportional sind. — Vergleichende Uebersicht der Wirkung der Flüssigkeiten und ihrer Dämpfe auf strahlende Wärme. — Physikalische Ursache der Undurchlässigkeit und der Durchlässigkeit. — Einfluss der Temperatur auf die

Durchlassung von strahlender Wärme. — Veränderungen der Stellung durch Temperaturveränderungen. — Ausstrahlung von Flammen. — Einfluss der Schwingungsdauer auf die Durchlassung der strahlenden Wärme. — Erklärung der Resultate von Melloni und Knoblauch . . . . Seite 508 — 547
Anhang: Ueber Calorescenz . . . . Seite 548 — 577

Dreizehntes Kapitel.

Thau: ein klarer Himmel und eine ruhige, aber feuchte Atmosphäre sind für seine reichliche Bildung erforderlich. — Bethaute Substanzen sind kälter als unbethaute. — Bethaute Substanzen sind besser ausstrahlende Körper als unbethaute. — Thau ist eine Verdichtung des atmosphärischen Dampfes auf Substanzen, die durch Ausstrahlung abgekühlt sind. — Ausstrahlung des Mondes. — Beschaffenheit der Sonne. — Die hellen Linien in den Spectren der Metalle. — Ein weissglühender Dampf absorbirt die Strahlen, die er selbst ausgeben kann. — Kirchhoff's Verallgemeinerung. — Fraunhofer's Linien. — Sonnenchemie. — Ausstrahlung der Sonne. — Herschel's und Pouillet's Versuche. — Mayer's Meteor-Theorie. — Wirkung der Ebbe und Fluth auf die Umdrehung der Erde. — Lebendige Kraft des Sonnensystems. — Helmholtz, Thomson, Waterston. — Beziehung der Sonne zum thierischen und vegetabilischen Leben . . . . Seite 578 — 632
Anhang: Auszug aus einer Vorlesung „Ueber die physikalische Grundlage der Chemie der Sonne“. — Auszug aus einer Abhandlung des Herrn Joule. — Auszüge aus der Abhandlung von Dr Mayer über: Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel . . . . Seite 633 — 642

DIE WÄRME
ALS EINE
ART DER BEWEGUNG.

Erstes Kapitel.

Apparate. — Erzeugung der Wärme durch mechanische Arbeit. — Wärmeverbrauch durch Arbeit.

Anhang: Bemerkungen über die thermo-elektrische Säule und das Galvanometer.

1. Der Anblick der Natur erweckt den Geist der Forschung im Menschen. Wie das Auge zum Sehen und das Ohr zum Hören geschaffen ist, so ist der menschliche Geist dazu gemacht, die Erscheinungen des sichtbaren Weltalls zu begreifen. Die heutige Naturwissenschaft ist die Frucht von dem unwiderstehlichen Thätigkeitstriebe dieser Geisteskraft. Eine hervorragende Eigenthümlichkeit derselben besteht in ihrem steten Wachsthum; jede Thatsache darin ist fruchtbar, und in jeder neuen Entdeckung liegt sofort der Keim zu frischen Untersuchungen. Wir könnten kein besseres Beispiel für dieses Wachsthum anführen, als die ausgedehnte Entwicklung, welche unsere Ideen und Kenntnisse in Bezug auf den Gegenstand, der heute unsere Aufmerksamkeit beschäftigen wird, innerhalb der letzten zweiundzwanzig Jahre gewonnen haben.

Bis jetzt war in wissenschaftlichen Handbüchern nur spärlich die Rede von der modernen Wärmetheorie, und so kommt es, dass die Kenntnisse des Publicums in dieser Beziehung unter dem erreichbaren Niveau geblieben sind. Dieses Zurückbleiben ist jedoch erklärlich; denn der Gegenstand ist noch immer ein sehr verwickelter, und wir müssen bei der Verfolgung desselben auf mancherlei Schwierigkeiten gefasst sein. Es giebt jedoch keine Frage im ganzen Bereiche der Naturwissenschaften, deren Lösung dankbarer und lohnender für den Forscher wäre. Die verschiedenen Naturkräfte stehen ja in so enger Wechselwirkung, dass wir eine klare Einsicht in den allgemeinen, zwischen ihnen bestehenden Zusammenhang erhalten, wenn wir die Gesetze und Beziehungen auch nur der Wärme allein verstehen lernen. Lassen Sie uns denn unsere Arbeit mit Lust und Liebe beginnen; lassen Sie uns mit den neuesten Vorstellungen und Thatsachen bekannt werden, welche sich auf dieses Alles durchdringende Agens beziehen, und eifrig nach den Gliedern der Kette suchen, wodurch diese Thatsachen verbunden werden und Einheit hergestellt wird zwischen seinen mannigfaltigsten Erscheinungsformen.

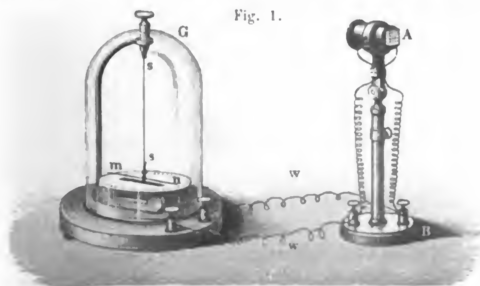
Wenn ich hierin meine Absicht erreiche, so wird es mir vergönnt sein, den Ordnungs- und Schönheitssinn, welcher im Grunde Ihrer Seele wohnt, in ganz ungewöhnlichem Grade zu befriedigen. Von der Höhe, welche wir erstreben, werden wir erhabenere Einblicke in das ganze Natursystem thun können, als wenn ich, als Ihr Führer, mich auf gewöhnlichere und mehr betretene Pfade beschränken wollte.

2. Meine erste Pflicht besteht darin, Sie mit einigen von den Apparaten, welche ich bei der Untersuchung dieser Fragen anwenden werde, bekannt zu machen. Ich

musste Mittel und Wege suchen, um für Sie Alle die Anzeigen der Temperatur-Unterschiede deutlich sichtbar zu machen. Zu diesem Zwecke war ein gewöhnliches Thermometer gänzlich unbrauchbar, denn Sie hätten die Veränderungen an demselben nicht wahrnehmen können. Es ist jedoch mein Wunsch, Sie durch den Augenschein von den Thatsachen zu überzeugen, worauf sich unsere Theorie gründet.

Ich wünsche Ihnen das Material zu einem unabhängigen Urtheil an die Hand zu geben, damit Sie entweder meinen Schlüssen beistimmen, falls Sie dieselben richtig finden, oder mich berichtigen, wenn ich in die Irre gerathen sollte, oder aber mich tadeln, falls Sie finden, dass ich falsche Folgerungen zu erschleichen suchen sollte. Zu diesem Ende war ich genöthigt, anstatt eines gewöhnlichen Thermometers dieses kleine Instrument *AB* (Fig. 1) zu benutzen, welches Sie hier vor mir auf dem

Fig. 1.



Tische stehen sehen, und welches man eine thermoelektrische Säule nennt*).

*) Eine kurze Beschreibung der thermo-elektrischen Säule ist im Anhange zu diesem Kapitel gegeben.

3. Wenn Wärme diesem Instrumente zugeleitet wird, erzeugt sie einen elektrischen Strom. Sie wissen, oder sollten es wenigstens wissen, dass ein solcher Strom die Kraft hat, eine frei aufgehängte Magnetnadel abzulenken, wenn er ihr parallel geht. Hier sehen Sie nun eine solche Nadel *mn* (Fig. 1) umgeben von einem übersponnenen Kupferdraht, dessen freie Enden *ww* mit einer thermoelektrischen Säule in Verbindung stehen. Die Nadel ist an einem Coconfaden *ss* aufgehängt und wird durch eine Glasglocke *G* vor den Einflüssen des Luftzuges geschützt. Das eine Ende der Nadel habe ich mit einer Spitze von rothem, das andere mit blauem Papier bezeichnet. Alle Anwesenden werden diese beiden Papierstücke wahrnehmen können, und wenn die Nadel sich bewegt, wird die Veränderung auch dem Entferntesten unter Ihnen sichtbar sein *).

4. Gegenwärtig ist die Nadel in vollkommener Ruhe und zeigt auf den Nullpunkt der darunter befindlichen, in Grade eingetheilten Scheibe. Diese Stellung beweist, dass kein elektrischer Strom vorhanden ist. Ich hauche nun einen Augenblick auf die unbedeckte Oberfläche *A* der Säule. Ein einmaliges Anhauchen genügt für meinen Zweck. Die Nadel setzt sich in Bewegung und beschreibt einen Bogen von 90°. Sie würde noch weiter gehen, hätte ich ihrer Schwingung nicht eine Grenze gesetzt durch ein dünnes Glimmerplättchen, welches ich, in senkrechter Stellung, bei 90° befestigt habe.

Beachten Sie nun die Richtung dieser Abweichung: die

---

*) Bei der Vorlesung stand das hier beschriebene Galvanometer auf einem Schemel an der Vorderseite des Experimentirtisches, indem die Drähte *ww* lang genug waren, um von dem Tisch zu dem Schemel herab zu reichen. Wegen näherer Beschreibung des Galvanometers siehe Anhang zu diesem Kapitel.

rothe Nadelspitze bewegt sich in der Richtung von mir zu Ihnen, gerade als hätte ich plötzlich ihr Missfallen erregt, Sie dagegen sie mit Zuneigung erfüllt. Diese Bewegung der Nadel wurde durch die geringe Wärmemenge hervorgebracht, welche mein Athem der einen Fläche der Säule mittheilte; ein gewöhnliches Thermometer wäre nicht im Stande gewesen, diesen Einfluss so schnell und deutlich anzuzeigen. Warten wir nun so lange, bis die Wärme sich verloren hat, wozu übrigens nur kurze Zeit erforderlich ist, dann werden Sie bemerken, dass in dem Maasse, wie die Säule sich abkühlt, die Nadel in ihre frühere Lage zurückkehrt. Beobachten Sie jetzt den Einfluss der Kälte auf die Fläche der Säule. Ich kühle diese Metallplatte, indem ich dieselbe auf Eis lege, sodann trockne ich das erkältete Metall und berühre damit die Säule. Sie sehen die Wirkung. Eine augenblickliche Berührung genügt, um eine rasche und energische Abweichung der Nadel hervorzubringen. Allein achten Sie auf den Sinn dieser Abweichung. Bei der Erwärmung der Säule bewegte sich das rothe Ende der Nadel von mir zu Ihnen, jetzt sind die Neigungen derselben umgekehrt; die rothe Spitze kommt von Ihnen zu mir. Für uns ist dies insofern wichtig, als wir aus der Richtung der Nadelbewegungen mit Sicherheit erkennen können, ob Wärme oder Kälte auf die Säule eingewirkt habe, während die Kraft der Bewegung, — die Schnelligkeit, womit die Nadel den Ruhepunkt verlässt, — uns einen Begriff geben von der verhältnissmässigen Menge der Wärme oder Kälte, welche derselben mitgetheilt wurde. Bei einer späteren Gelegenheit werde ich Ihnen erklären, wie wir mit numerischer Schärfe das Verhältniss solcher Wärmequantitäten ausdrücken können; für heute genügt eine all-

gemeine Kenntniss der Bewegung und Wirkung unserer Apparate.

5. Mein Wunsch geht zunächst dahin, Ihnen die Beziehung der Wärme zu den bekannteren Arten der Kraftleistungen zu erklären; und deshalb werde ich zuerst versuchen, Sie mit einer Reihe von Thatsachen bekannt zu machen, welche die Erzeugung der Wärme durch mechanische Vorgänge erläutern.

Ich habe im anstossenden Zimmer einige Stücke Holz liegen, welche mein Assistent mir bringen wird. Die Temperatur in jenem Zimmer ist etwas niedriger als hier, deshalb muss das Holz, welches ich jetzt vor mir habe, etwas kälter sein, als die Fläche der Säule, woran wir nun die Temperatur des Holzes prüfen werden.

Machen wir den Versuch. Während das Holz die Säule berührt, bewegt sich die rothe Nadelspitze in der Richtung von Ihnen zu mir, und zeigt dadurch, dass diese Berührung die Säule abgekühlt hat. Ich reibe nun vorsichtig mit dem Holze gegen die Fläche der Säule — ich sage vorsichtig, weil diese Säule ein zerbrechliches Instrument ist und rauhe Behandlung nicht ertragen würde — und nun beobachten Sie, was geschieht. Die schnelle und kräftige Bewegung der Nadel, nach Ihrer Seite hin, zeigt an, dass die Oberfläche der Säule durch diese schwache Reibung erwärmt worden ist. Sie sehen, die Nadel durchläuft jetzt 90° in einer der früheren entgegengesetzten Richtung.

6. Diese Versuche, welche die Entwicklung der Wärme durch mechanische Mittel erklären, müssen für uns die Stelle der Schulexercitien vertreten. Um dieselben unserem Gedächtniss einzuprägen und ihrer völlig Herr zu werden, müssen wir sie oft wiederholen und in verschiedenster Weise üben. Ich bitte Sie daher, mir bei dieser

Aufgabe zu folgen. Hier habe ich ein flaches, an einen Kork befestigtes Stück Messing. Ich fasse den Kork mit den Fingern, jedoch so, dass das Metall vor jeder Berührung meiner warmen Hand geschützt ist, und berühre die Säule mit dem Metallstück. Die Nadel bewegt sich und zeigt uns, dass das Metall kalt ist. Jetzt reibe ich letzteres gegen dieses Stück kalten Holzes und halte es dann wieder an die Säule. Es ist nun so heiss geworden, dass, wenn ich es länger in Berührung mit dem Apparate liesse, die dadurch erzeugte elektrische Strömung die Nadel heftig gegen ihre Hemmungen treiben und deren Magnetismus wahrscheinlich verändern würde. Sie sehen die bedeutende Abweichung derselben, welche eine, wenn auch nur momentane, Berührung hervorzubringen vermag. In der That habe ich mir als Knabe gar manches Mal die Hand an einem Metallknopfe verbrannt, den ich heftig gegen die Schulbank abgerieben hatte.

Hier ist ein auf dem Eise abgekühltes Rasirmesser und hier ein ungeölter Schleifstein, auf welchem ich das kalte Messer abziehe, als wollte ich es schärfen. Ich bringe das Rasirmesser an die Säule, und Sie sehen, dass der Stahl, welcher soeben noch kalt war, jetzt heiss ist. Ferner nehme ich dieses Messer nebst dem Brette, worauf es lag; beide Gegenstände sind kalt; ich reibe das Messer gegen das Brett und, indem ich ersteres an die Säule halte, erweist es sich als heiss. Ich ziehe diese kalte Säge durch dieses kalte Stück Holz und bringe zuerst die Holzfläche, welche durch die Säge gerieben worden war, in Berührung mit der Säule. Die Nadel bewegt sich augenblicklich in der Richtung, welche anzeigt, dass das Holz erwärmt ist. Wir lassen die Nadel auf den Nullpunkt zurückkehren und wiederholen den Versuch mit der Säge: auch sie ist heiss. Es sind dies die ein-

fachsten und gewöhnlichsten Beispiele von Entstehung der Wärme durch Reibung; eben deshalb habe ich dieselben gewählt. So unbedeutend sie auch scheinen mögen, so sind sie doch erläuternde Beispiele eines Principes, welches das materielle Universum regiert.

7. Lassen Sie uns nun einen Versuch machen, um die Erzeugung von Wärme durch Druck zu erklären. Hier sehen Sie ein Stück Tannenholz, welches unter die Temperatur dieses Zimmers abgekühlt ist, und welches bei der Berührung mit der Säule diejenige Ablenkung giebt, welche Kälte anzeigt. Ich lege das Holz zwischen die Platten einer kleinen hydraulischen Presse und setze es einem kräftigen Drucke aus. Ich bitte Sie, darauf zu achten, dass auch diese Platten kälter sind, als die Luft in diesem Zimmer. Nachdem das Holz zusammengepresst ist, bringe ich dasselbe mit der Säule in Berührung und das Galvanometer zeigt an, dass durch diesen Druck Wärme erzeugt ist. Genau dasselbe wird sich ereignen, wenn ich diesen Bleiklotz unter die Presse bringe und denselben flach drücke.

8. Beobachten wir nun die Wirkungen des Stosses. Hier ist eine kalte, bleierne Kugel, welche ich auf diesen kalten Amboss lege und mit diesem kalten Schmiedehammer schlage. Der Hammer fällt mit einer gewissen mechanischen Kraft, und seine Bewegung ist plötzlich durch den Amboss und die Kugel aufgehoben; die Kraft des Hammers ist scheinbar verloren. Allein untersuchen wir nun das Blei; Sie sehen, es ist erhitzt, und wir werden mit der Zeit erfahren, dass, wenn wir alle durch den Schlag hervorgebrachte Wärme aufsammeln und dieselbe ohne mechanische Verluste wieder anwenden könnten, wir damit im Stande wären, den Hammer wieder zu der Höhe zu erheben, von welcher er herabfiel.

Ich habe hier noch einen Versuch vorbereitet, der fast zu fein ist, um mit so grossen Instrumenten, wie wir sie für unsere Vorlesungsversuche brauchen, ausgeführt zu werden, der aber, dessen ungeachtet, mit passenden Apparaten sehr leicht gemacht werden kann.

Ich giesse eine Quantität zuvor abgekühlten Quecksilbers in dieses kleine Gefäss. Eine Seite der thermoelektrischen Säule ist mit Firniss bedeckt, um sie gegen den zerstörenden Einfluss des Quecksilbers zu sichern, und tauche das also geschützte Instrument in das flüssige Metall. Die Abweichung der Nadel zeigt, dass das Quecksilber kalt ist. Hier sind zwei Gläser *A* und *B* (Fig. 2), dick mit Sahlband umwickelt, so dass das Quecksilber von der Wärme meiner Hände nicht erreicht werden kann. Ich giesse das kalte Metall von diesem Glas in das andere und wieder in das erste zurück. Es fällt mit einer gewissen mechanischen Kraft; die Bewegung wird vernichtet, aber Wärme wird entwickelt. Die Menge der Wärme, welche durch ein einziges Ausgiessen hervorgebracht wird, ist ausserordentlich klein; ich könnte Ihnen leicht ein genaues Maass angeben, allein ich möchte mich noch nicht auf quantitative Angaben einlassen. Nun schütte ich das Quecksilber ungefähr zehn bis funfzehn Mal von einem Glase in das andere. Beachten Sie die

Fig. 2.



Wirkung, wenn ich die Säule nunmehr in das Metall eintauche. Die Nadel bewegt sich und zeigt, dass das zuvor kalte Metall nun wärmer als die Säule geworden ist. Wir führen hiermit in diesen Saal eine Erscheinung ein, welche am Fusse eines jeden Wasserfalls auftritt. Unter den hier Anwesenden befinden sich einige meiner Freunde, welche einst im Schaume des Niagarafalles gestanden haben. Hätten sie dort mit genügend empfindlichen Thermometern die Temperatur des Wassers ober- und unterhalb des Falles gemessen, so hätten sie dasselbe unten wärmer als oben gefunden. Auch der Seemannsglaube, dass das Meerwasser nach einem Sturme wärmer sei, als zuvor, ist wenigstens der Theorie nach vollkommen richtig, indem die mechanische Kraft der Wogen in der That schliesslich in Wärme verwandelt wird.

9. Durch das Ueberwinden hemmender Reibung wird Wärme erzeugt, und die gewonnene Wärme ist das genaue Maass der Kraft, welche angewendet wurde, um die Reibung zu überwinden. Die Wärme ist einfach die ursprüngliche Kraft in einer anderen Form, und wenn wir diese Verwandlung zu vermeiden wünschen, so müssen wir die Reibung verhindern. Wir bestreichen einen Schleifstein mit Oel, eine Säge mit Fett, und sorgen dafür, dass die Axen unserer Eisenbahnwagen stets schlüpfrig erhalten werden. Aus welchem Grunde thun wir dies Alles?

Streben wir zunächst nach allgemeinen Begriffen, und später erst nach strenger Genauigkeit des Ausdruckes. Der Maschinist stellt sich die Aufgabe, einen Eisenbahnzug von einer Stelle an eine andere zu treiben; zu diesem besonderen Zwecke wünscht er die Kraft des Dampfes, oder vielmehr der Feuerung, wodurch der Dampf Spannkraft erhält, anzuwenden. Er darf nicht gestatten, dass ein Theil dieser Kraft eine andere Form annehme, welche

der Erreichung seines Zweckes nicht förderlich wäre. Erhitzte Axen kann er nicht brauchen; er wird also möglichst vermeiden, die verfügbare Kraft auf deren Erwärmung zu verwenden. Er hat ja ursprünglich seine Dampfkraft durch die Wärme erhalten und bezweckt nicht, die so gewonnene Kraft wieder in ihre ursprüngliche Form zurückzuführen. An Stelle eines jeden, durch die Reibung der Axen erzeugten Wärmegrades, würde ein bestimmter Betrag der treibenden Kraft seiner Maschine entzogen werden. Keine Kraft geht ganz verloren. Wären wir im Stande, alle durch diese Reibung hervorgebrachte Wärme zu sammeln und dieselbe mechanisch wieder anzuwenden, so könnten wir durch sie dem Zuge genau das Maass der Schnelligkeit verleihen, welches er zuvor durch die Reibung einbüsste.

Sie sehen also, dass jeder Eisenbahnarbeiter, der mit seiner Kanne voll gelben Fettes umhergeht und die Wagenaxen untersucht, ohne es zu wissen eines der Grundgesetze, wodurch die Welt zusammengehalten wird, erläutert. Indem er so handelt, giebt er unbewusst zu erkennen, dass er sowohl von der Verwandlungsfähigkeit als von der Unzerstörbarkeit der Kraft überzeugt ist. Praktisch behauptet er, dass mechanische Kraft sich wohl in Wärme verwandeln, jedoch nach dieser Umwandlung nicht mehr als mechanische Kraft fortbestehen könne; sondern dass durch jeden in den Wagenaxen entwickelten Wärmegrad ein genau entsprechendes Aequivalent von bewegender Kraft aus der Maschine verschwinden müsse.

9. Alle Kraft unserer Locomotiven stammt von der Wärme und kann eventuell wieder zu Wärme werden. Um einen Eisenbahnzug in der erforderlichen Schnelligkeit zu erhalten, muss dessen Reibung fortdauernd überwunden werden, und die hier angewandte Kraft wird vollständig

in Wärme verwandelt. Ein bedeutender Schriftsteller *) hat diesen Vorgang mit dem der Destillation verglichen. Die Kraft der Wärme geht von dem Dampfkessel in die mechanische Bewegung des Bahnzuges über, und kommt daselbst als Wärme in den Rädern, Axen und Schienen wieder zum Vorschein. Wenn ein Zug, der sich mit der Schnelligkeit von 30 Meilen pro Stunde fortbewegt, in die Nähe einer Station gelangt, so wird die Bremse angewendet, und alsbald sprühen Rauch und Funken aus dem Rade, worauf dieselbe drückt. Der Zug kommt zum Stillstande. Wodurch? Einfach dadurch, dass die ganze bewegende Kraft, welche der Zug vorher besass, mittelst der Bremse in Wärme verwandelt wird.

10. Wenn ein Zimmermann seine Säge mit Fett einreibt, so tritt derselbe Fall ein. Er gebraucht die Muskelkraft seines Armes in der Absicht, das Holz zu durchschneiden; das heisst, er wünscht vermittelst der Zähne seiner Säge die Bestandtheile des Holzes zu trennen und dessen natürlichen Zusammenhang zu überwinden. Findet eine starke Reibung gegen die breite Fläche der Säge Statt, so kann sie sich nur schwer bewegen, und derselbe Kraftaufwand wird ein viel kleineres Resultat erreichen, als wenn das Werkzeug ohne Reibung arbeitet. Inwiefern ist das Resultat kleiner? Dasselbe ist nicht absolut kleiner, sondern nur in Bezug auf die Leistung des Sägens. Die Kraft, welche der Säge nicht zu Gute kommt, wird nicht verloren, sondern in Wärme verwandelt, wie ich dies soeben durch ein Beispiel erläutert habe. Könnten wir die durch Reibung entstandene Wärme sammeln und zur Bewegung der Säge verwenden, so wären wir im Stande, das genaue Maass von Kraft herzustellen, das der Zimmermann in

*) Dr. Mayer.

eine andere Form brachte, indem er es versäumte, sein Werkzeug gehörig schlüpfrig zu machen.

11. Wir erwärmen unsere Hände durch Aneinanderreiben; auch erfrorenen Gliedern suchen wir auf diese Weise die nöthige Wärme wieder zuzuführen. — Die Wilden verstehen die Kunst, Feuer anzumachen, vermittelst zweier eigens dazu ausgesuchter Hölzer, welche an einander gerieben werden. Auf einer Drehbank kann man Holz mit Leichtigkeit zum Verkohlen bringen. Streichhölzer werden durch die Reibung bis zur Entzündungstemperatur gebracht. In dunkeln Nächten sprühen unter den Füssen unserer Arbeiter oft deutliche Funken hervor, wenn ihre Schuhnägel mit dem harten Feuerstein der Landstrasse von Hampshire in Berührung kommen. Bei dem Feuerschlagen vermittelst Stein und Stahl werden die abgeschlagenen Metalltheilchen so stark erhitzt, dass sie sich entzünden und in der Luft verbrennen. Dieser Verbrennung geht Wärme voraus. Davy fand, dass keine Funken entstehen, wenn man ein mit einem Feuerstein versehenes Flintenschloss in einem luftleeren Raum abdrückt; wohl aber zeigen die abgesprengten Metalltheilchen Spuren der Schmelzung bei der mikroskopischen Untersuchung *). Hier ist ein grosser Bergkrystall; ich brauche diesen kleineren nur schnell darüber hinwegzuziehen, um Licht und Wärme hervorzubringen. Sie sehen diese beiden Quarzkiesel; ich reibe sie gegen einander und sie beginnen zu leuchten.

12. Schon Aristoteles spricht von der Erwärmung der Pfeilgeschosse durch die Reibung der Luft; auch eine Büchsenkugel wird durch Reibung erwärmt, während sie die Luft durchschneidet. Die wahrscheinlichste Theorie

*) Works of Sir H. Davy, vol. II, pag. 8.

der Sternschnuppen ist die, dass dieselben kleine planetarische Körper sind, welche sich um die Sonne bewegen, jedoch durch die Anziehungskraft der Erde aus ihrer Laufbahn herausgerissen und durch die Reibung unserer Atmosphäre zum Weissglühen gebracht werden. Chladni stellte diese Ansicht auf, und Joule lieferte den Beweis, dass die atmosphärische Reibung genügend sei, um diese Wirkung hervorzubringen. Des Letzteren Annahme, dass die Mehrzahl unserer Meteorsteine durch die Hitze zersprengt sei, und dadurch der Erde ein entsetzliches Bombardement erspart werde, hat auch viel Wahrscheinlichkeit für sich *). Diese Körper bewegen sich mit planetarischer Schnelligkeit. Die Geschwindigkeiten der vier unteren Planeten in ihrer Bahn sind folgende:

	engl. Meilen in der Sekunde.	geogr. Meilen.
Merkurius	30,40	6,593
Venus	22,24	4,823
Erde	18,91	4,101
Mars	15,32	3,322

während die Geschwindigkeit der Meteore zwischen 18 und 36 englischen (4 und 8 geogr.) Meilen in der Sekunde schwankt. Die Reibung, welche durch diese ungeheure Geschwindigkeit entsteht, ist sicherlich hinreichend, um die ihr zugeschriebenen Wirkungen hervorzubringen.

13. Vor mehr als 64 Jahren veranstaltete Graf Rumford, einer der Gründer der Royal Institution, eine Reihe von Versuchen über die Erzeugung von Wärme durch Reibung, welche noch heut zu Tage von höchstem Interesse und Wichtigkeit sind. Ueberhaupt werden die Verdienste, welche die Gründer dieses Institutes sich um die Frage von der Verwandtschaft der Naturkräfte erwor-

*) Philosophical Magazine, 4. Series, vol. XXXII, pag. 349.

ben haben, stets unvergesslich bleiben. Thomas Young legte den Grund zu der Theorie von der Wellenbewegung des Lichtes, welche in ihrer vollsten Anwendung auch unsere heutige Wärmetheorie mit in sich begreift. Davy hegte, der Hauptsache nach, schon dieselben Ansichten, welche ich Ihnen jetzt nahe zu bringen und zu erläutern suche. Faraday setzte die Gesetze der Aequivalenz zwischen chemischen Kräften und Elektricität fest, und seine magneto-elektrischen Entdeckungen waren geradezu die ersten Thatsachen, welche Joule als Beweis für die gegenseitige Verwandlungsfähigkeit von Wärme und mechanischer Kraft benutzte. Rumford hat in einer sowohl durch scharfe Logik, als durch die darin enthaltenen Versuche bedeutenden Arbeit schon im Jahre 1798 *) die Lehre von der Natur der Wärme in der Weise vertheidigt, wie sie in neuester Zeit durch die Versuche hervorragender Physiker festgestellt worden ist. Rumford war damals in München mit dem Bohren von Kanonen beschäftigt, und die bei diesem Processe sich entwickelnde*), bedeutende Wärme erregte seine Aufmerksamkeit in so hohem Grade, dass er einen eigenen Apparat ersann, um die durch Reibung erzeugte Wärme zu untersuchen. Er liess einen hohlen, eisernen Cylinder construiren, worin ein massiver, gegen den Boden des Cylinders drückender Kolben eingepasst war. Ein den Cylinder umgebender Kasten fasste 18¾ Pfund Wasser, in welches ein Thermometer eingesenkt war. Die ursprüngliche Temperatur des Wassers betrug 15,6° C. Der Cylinder wurde durch Pferdekraft in Drehung versetzt, und eine Stunde nach Beginn dieser Reibung war die Temperatur des Wassers auf 41,7°, also um 26° gestiegen. Eine halbe Stunde spä-

*) Ein Auszug aus dieser Schrift ist in dem Anhang zu Kap. II. enthalten.

ter war die Temperatur 61,1°C. Die Bewegung wurde fortgesetzt; nach zwei Stunden zeigte das Thermometer auf 81,1°; nach zwei Stunden und zwanzig Minuten auf 93,3°, und nach zwei Stunden und dreissig Minuten kam das Wasser wirklich zum Kochen!

Rumford schildert den Eindruck, welchen dieser Vorgang auf die Augenzeugen machte, in hübscher Weise wie folgt: „Es wäre schwer," sagt er, „den Ausdruck der Ueberraschung und des Erstaunens zu schildern, der sich auf den Gesichtern der Umstehenden malte, als sie sahen, wie diese grosse Wassermasse sich erwärmte und wirklich zum Kochen kam, und zwar ganz ohne Feuer. Obgleich die Sache an und für sich ja nichts Erstaunliches darbot, so gestehe ich doch gern, dass ich eine wahrhaft kindische Freude über diesen Vorgang empfand. Wenn ich auf den Ruf eines ernsten Forschers Anspruch machte, so müsste ich freilich diese Freude eher zu verbergen suchen, anstatt dieselbe kund zu geben*)."

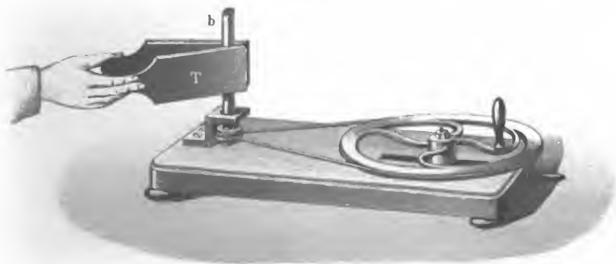
Wir verzichten gewiss Alle recht gern auf die Anwendung von philosophischen Grundsätzen, welche ähnliche Regungen, wie die eben von Rumford bekannten, zu ersticken suchen würden. Joule**) hat den Betrag der zur Wärmeerzeugung bei diesem auffallenden Versuche angewendeten mechanischen Kraft berechnet, und kam dabei zu einem Resultate, das, wie er sagt, „nicht allzu verschieden ist" von den Ergebnissen seiner eigenen Forschungen, die er, unterstützt durch reichere Kenntnisse und feinere Versuche, in Bezug auf die numerische Aequivalenz von Arbeit und Wärme erlangte.

14. Es wäre abgeschmackt, wenn ich Ihnen hier den Versuch des Grafen Rumford ganz in derselben Weise

*) Rumford's Essays, vol. II, pag. 484.
**) Philosophical Transactions, vol. CXL, pag. 62.

wiederholen wollte. Ich kann auf einen einzelnen Versuch nicht zwei und eine halbe Stunde verwenden, hoffe

Fig. 3.



jedoch, im Zeitraum von zwei und einer halben Minute Ihnen im Wesentlichen dieselbe Wirkung zeigen zu können. Hier ist eine Messingröhre (*b*, Fig. 3), welche $^3/_4$ Zoll Durchmesser im Inneren und 4 Zoll Länge hat. Dieselbe ist von unten geschlossen, und ist aufrecht stehend an eine Drehscheibe festgeschraubt, vermittelst welcher sie in schnelle Drehung versetzt werden kann. Hier sehen Sie zwei durch ein Scharnier verbundene Stücke Eichenholz, in welchen zwei halbkreisförmige, zur Aufnahme der Messingröhre bestimmte, Vertiefungen angebracht sind. Die Holzstücke bilden auf diese Weise gewissermaassen eine Zange (*T*, Fig. 3), deren Arme, wenn sie zusammengedrückt werden, Reibung zwischen dem Holz und der Messingröhre hervorbringen, sobald letztere gedreht wird. Ich fülle die Röhre theilweise mit kaltem Wasser, verstopfe die obere Oeffnung durch einen Kork, um das Ausspritzen des Wassers zu verhüten, und setze die Maschine nun in Bewegung. Bei fortgesetzter Drehung steigt die Temperatur des Wassers und, obwohl

noch nicht zwei und eine halbe Minute verflossen sind, so werden doch diejenigen unter Ihnen, welche mir zunächst sitzen, bereits den aus der Röhre aufsteigenden Dampf gewahren. Der Kork ist heute schon mehrmals durch die Kraft des Dampfes über 20 Fuss hoch in die Luft geschleudert worden, während der nachfolgende Dampf eine kleine Wolke in der Atmosphäre bildete.

15. In allen Ihnen bis jetzt vorgeführten Fällen wurde die Wärme auf Kosten von mechanischer Kraft erzeugt. Mehrere Versuche haben uns gezeigt, dass Wärme erzeugt wird, wo mechanische Kraft verloren geht. Es gilt jetzt, Ihnen den entgegengesetzten Versuch zu zeigen und Ihnen den Verbrauch von Wärme bei der Erzeugung von mechanischer Arbeit zu beweisen. Hier habe ich ein starkes, zur Zeit mit comprimirter Luft angefülltes Gefäss. Diese Luft ist bereits seit einigen Stunden comprimirt, so dass die Temperatur innerhalb des Cylinders dieselbe ist, wie hier in diesem Zimmer. Im gegenwärtigen Augenblicke drückt also die innere Luft gegen die Wände des Gefässes; öffne ich diesen Hahn, so wird ein Theil der Luft mit Heftigkeit der Röhre entströmen. Das Wort „strömen" giebt jedoch nur einen unbestimmten Begriff vom wirklichen Sachverhalte; die ausströmende Luft wird nämlich von der dahinter befindlichen hinausgetrieben, und diese letztere vollbringt also die Arbeit des Hinaustreibens des Luftstromes. In welchem Zustande wird diese arbeitende Luft sich während dieses Processes befinden? Sie wird kälter werden, denn sie leistet mechanische Arbeit, und kann dabei kein anderes Agens zu Hülfe nehmen, als die ihr innewohnende Wärme, der sie allein die elastische Kraft verdankt, vermittelst welcher sie gegen die Seitenwände des Gefässes drückt. Ein Theil dieser Wärme wird verbraucht und die Luft wird

abgekühlt werden. Achten Sie auf diesen Versuch. Ich öffne den Hahn (*c*, Fig. 4) und lasse die Luft aus dem Gefäss *V* gegen die Fläche der Säule *P* strömen. Die

Fig. 4.

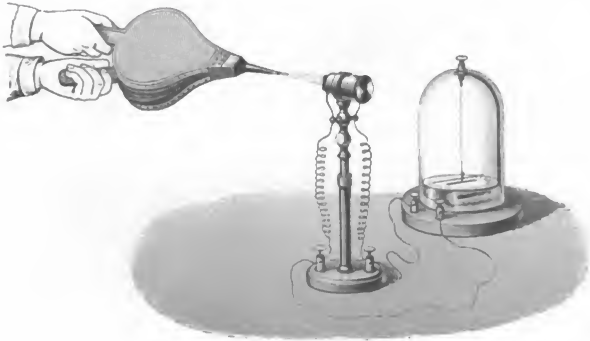


Magnetnadel reagirt augenblicklich; ihre rothe Spitze nähert sich mir und beweist dadurch, dass die Säule durch den Luftstrom erkältet worden ist.

16. Die Wirkung ist eine andere, wenn man Luft aus der Röhre eines gewöhnliches Blasebalges auf die thermoelektrische Säule einströmen lässt. Bei unserm letzten Versuche wurde die mechanische Arbeit des Luftaustreibens von der Luft selbst vollbracht, und ein Theil ihrer Wärme wurde durch die Anstrengung verbraucht. Bei dem Blasebalg leisten meine Muskeln die Arbeit. Ich hebe die obere Platte des Blasebalges, die Luft strömt ein; ich drücke die beiden Platten mit einer gewissen Ge-

walt gegen einander und die Luft strömt aus. Die ausgetriebene Luft stösst gegen die Oberfläche der Säule, wird hier in ihrer Bewegung gehemmt und erzeugt augenblicklich eine Wärmemenge, welche der vernichteten Bewegung äquivalent ist. Sie werden bemerken, dass, wenn ich mit dem Blasebalge einen Luftstrom (Fig. 5) gegen

Fig. 5.



die Säule richte, die rothe Nadelspitze sich gegen Sie hinbewegt und dadurch anzeigt, dass die Säule in diesem Falle durch die Luft erwärmt worden ist. Hier habe ich eine Flasche Sodawasser, welches jetzt etwas wärmer als die Säule ist, wie Sie aus der schwachen Abweichung der Nadel erkennen können; ich durchschneide den Draht, welcher den Kork festhält, und dieser wird durch die elastische Kraft des kohlensauren Gases hinausgetrieben. Das Gas leistet eine Arbeit und verbraucht dadurch Wärme. Die Abweichung, welche die Flasche jetzt an der Nadel hervorbringt, ist die der Kälte.

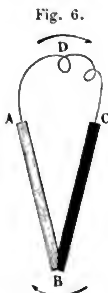
Sie sehen, dass auch in den kleinen Einzelheiten des täglichen Lebens wahre Poesie zu finden ist; und selbst in Verrichtungen, mit welchen jedes Kind vertraut ist, werden wir allmälig die Erläuterung der allgemeinen Grundsätze finden, von welchen alle Naturerscheinungen abhängen.

Anhang zum ersten Kapitel.

Anmerkung über die Construction der thermo-elektrischen Säule.

Man nehme *A B* (Fig. 6) eine Stange Antimon und *B C* eine Stange Wismuth und löthe beide bei *B* zusammen. Die zwei freien Enden *A* und *C* vereinige man durch ein Stück Draht *A D C.* Wird der Vereinigungspunkt erwärmt, so entsteht ein elektrischer Strom in der Richtung vom Wismuth zum Antimon (von *B* nach *A*, also gegen die Reihenfolge des Alphabets) über die Löthung weg, dagegen vom Antimon zum Wismuth (von *A* nach *B*, also in der Reihenfolge des Alphabets) durch den verbindenden Draht *A D C.* Die Pfeile zeigen die Richtung des Stromes an. Wenn der Vereinigungspunkt *B* erkältet wird, so entsteht ein dem vorigen entgegengesetzter Strom. Die Figur stellt ein sogenanntes thermo-elektrisches Paar oder Element dar.

Fig. 6.

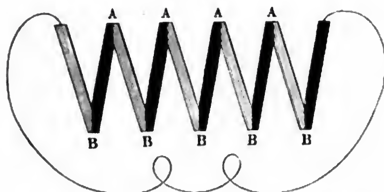


Durch die Vereinigung von mehreren thermo-elektrischen Elementen kann man einen stärkeren Strom erzeugen, als durch ein einzelnes Element. Fig. 7 z. B. stellt eine solche Anordnung dar, wobei angenommen wird, dass die schattirten Stäbchen aus Wismuth, die unschattirten aus Antimon bestehen; indem man alle Vereinigungspunkte *BB* etc. erwärmt, entsteht ein Strom in jedem einzelnen von ihnen, und die Summe aller dieser Ströme, welche sämmtlich in derselben

Richtung fliessen, wird einen stärkeren Gesammtstrom ergeben, als man ihn aus einem einzelnen Gliede erhalten könnte.

Das durch jedes Glied gebildete V braucht nicht so breit

Fig. 7.



zu sein, als es in Fig. 7 dargestellt ist, sondern man kann dasselbe ohne Nachtheil für die Kette zusammenziehen. Ist es nöthig, mehrere Elemente in einem kleinen Raume zu vereinigen, so kann jedes einzelne Glied wie in Fig. 8 zusammengefügt werden, worauf die schwarzen Linien Wismuthstäbchen, die schraffirten schmale Antimonstäbchen darstellen. Sie sind an den Enden zusammengelöthet und werden gewöhnlich der Länge nach durch Papierstreifchen getrennt. Eine innerhalb eines kleinen Raumes vereinigte grössere Anzahl von diesen Ketten bildet eine thermo-elektrische Säule, wovon eine Abbildung in Fig. 9 gegeben ist.

Da an der erwärmten Löthstelle der Strom, welcher durch die Erwärmung erzeugt wird, immer vom Wismuth zum An-

Fig. 8.

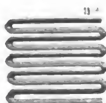
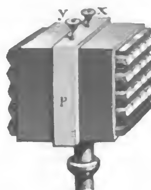


Fig. 9.



timon geht, so erhalten wir, wie der Anblick von Fig. 7 sogleich lehrt, bei Erwärmung der Löthstellen *A A* einen Strom

von gerade entgegengesetzter Richtung, als wenn wir die Wärme den Löthstellen *BB* zuführen. Daher bringt die Wärme an der thermo-elektrischen Säule Ströme in entgegengesetzter Richtung hervor, jenachdem sie die eine oder die andere Seite trifft.

Wenn die Temperatur an den beiden Flächen gleich ist, so neutralisiren sie sich gegenseitig, einerlei, wie stark sie beide erwärmt sein mögen; ist dagegen die eine Seite wärmer als die andere, so entsteht ein elektrischer Strom. Der Strom entsteht also durch einen Temperaturunterschied zwischen beiden Seiten der Säule, und innerhalb gewisser Grenzen ist die Stärke des Stromes genau proportional diesem Unterschiede.

Uebrigens kann man durch Verbindung von zwei beliebigen anderen Metallen fast immer thermo-elektrische Ströme erzeugen; jedoch entstehen sie am kräftigsten durch die Verbindung von Wismuth und Antimon *).

Erläuterung über die Construction des Galvanometers.

Man kann das Dasein und die Richtung eines elektrischen Stromes an der Wirkung, welche derselbe auf eine frei aufgehängte Magnetnadel ausübt, erkennen.

Eine solche Nadel wird jedoch durch die magnetische Kraft der Erde in dem magnetischen Meridiane festgehalten. Deshalb muss der Strom die magnetische Kraft der Erde überwinden, ehe er eine einzelne Nadel in Bewegung versetzen kann.

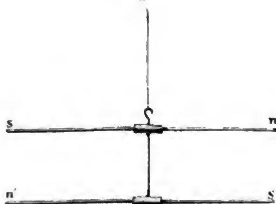
*) Wir verdanken die Entdeckung der Thermo-Elektricität Professor Thomas Seebeck aus Berlin. Nobili construirte die erste thermoelektrische Säule; durch Melloni jedoch bekam das Instrument eine solche Wichtigkeit, dass es bei den Untersuchungen über strahlende Wärme jedes andere verdrängt hat. Zu diesem Zwecke wird es auch künftig von uns angewendet werden.

Schwache Strömungen vermögen dies nicht in erheblicher Weise zu leisten. Man hat deshalb die beiden folgenden Hülfsmittel gleichzeitig angewendet, um die Wirkung solcher schwachen Ströme fühlbarer zu machen:

Erstens wird der Draht, durch welchen der Strom geht, derartig aufgerollt, dass er die Nadel mehrmals umgiebt; die Nadel muss innerhalb der Drahtwindungen frei schwingen können. Die Wirkung des einfachen Stromes ist auf diese Weise vervielfacht.

Das zweite Mittel besteht darin, die leitende Kraft der Erde zu neutralisiren, ohne dem Magnetismus der Nadel Abbruch zu thun. Dies geschieht dadurch, dass man sich zweier Nadeln anstatt einer einzigen bedient, und dass man dieselben an einem gemeinsamen senkrechten Stiele befestigt, und zwar in der Weise, dass die entgegengesetzten Pole über einander zu stehen kommen, so dass das Südende der einen und das Nordende der anderen Nadel nach derselben Richtung gewendet sind. Diese doppelte Nadel ist bei Fig. 10 abgebildet.

Fig. 10.



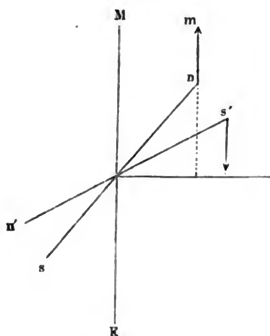
Die eine der Nadeln muss sich innerhalb der Windungen des vom elektrischen Strome durchflossenen Drahtes befinden, während die andere sich frei oberhalb derselben bewegt, und der gemeinsame senkrechte Stiel durch eine geeignete Spalte des Gewindes läuft. Befänden sich beide Nadeln innerhalb dieses Gewindes, so würden sie von demselben Strom in entgegengesetzter Richtung abgelenkt werden und sich auf diese Weise gegenseitig neutralisiren; wird jedoch die eine Nadel innerhalb, die andere ausserhalb angebracht, so werden sie von dem Strome in gleicher Richtung bewegt.

Ein solches Nadelpaar wird auf folgende Weise hergestellt: Man magnetisire beide Nadeln bis zur Sättigung und hänge sie dann in einem Gefässe oder unter einer Glasglocke auf, um sie vor Luftzug zu bewahren. Wahrscheinlich wird

sich das System auf den magnetischen Meridian einstellen, weil in den meisten Fällen die eine Nadel stärker magnetisch als die andere ist. Man schwäche hierauf die stärkere Nadel durch vorsichtige Berührung mit einem zweiten schwächeren Magneten. Wenn beide Nadeln genau dieselbe Stärke besitzen, so werden sie sich im rechten Winkel zum magnetischen Meridian stellen.

Man sollte meinen, dass bei gleicher Stärke der Nadeln die richtende Kraft der Erde vollständig aufgehoben und die doppelte Nadel völlig astatisch und in Bezug auf Richtung neutral wäre, so dass sie nur noch den Drehungen des Coconfadens gehorchte, woran sie aufgehängt ist. Dies wäre der Fall, wenn es gelänge, die magnetische Axe beider Nadeln mit mathematischer Genauigkeit in dieselbe vertikale Ebene zu verlegen. Praktisch ist dies nahezu unmöglich; die Axen durchkreuzen sich immer. Angenommen, ns, $n's'$ (Fig. 11) stellen die Axen zweier Nadeln vor, welche sich auf diese Weise kreuzen, wobei der magnetische Meridian parallel ist zu ME; angenommen ferner, der Pol n werde durch die Anziehungskraft der Erde in der Richtung von nm gezogen, während der Pol s' durch die Abstossungskraft der Erde in einer genau entgegengesetzten Richtung getrieben wird. Sind die Pole n und s' genau von gleicher Stärke, so muss in dem hier angenommenen Falle die Kraft, welche auf den Pol s' einwirkt, in Bezug auf Hebelwirkung im Vortheil sein und deshalb die Kraft, welche auf n einwirkt, überwinden. Die sich kreuzenden Nadeln würden sich in Folge dessen noch mehr von dem magnetischen Meridian entfernen; und einiges

Fig. 11.



Nachdenken wird uns lehren, dass dieselben nicht eher zur Ruhe kommen können, bis die Linie, welche den zwischen den Nadeln eingeschlossenen Winkel halbirt, im rechten Winkel zum magnetischen Meridian steht.

Dies ist die Probe für die vollkommene Gleichheit der Nadeln in Bezug auf ihren Magnetismus; man muss jedoch oft verschiedene Grade der Schiefstellung zum magnetischen Meridian durchprobiren, ehe man die Nadeln zu solcher Vollkommenheit bringt. In diesen Fällen wird die grössere Kraft der einen Nadel ausgeglichen durch einen Vortheil, welchen die andere in ihrer Stellung als Hebel besitzt. Durch einen glücklichen Zufall genügt zuweilen ein einziger Strich mit dem Magneten, um die vollständige Gleichheit der Nadeln herzustellen; zuweilen vergehen aber auch viele Stunden, ehe man zu diesem glücklichen Resultate gelangt. Selbstverständlich ist diese völlige Gleichheit nur bei sehr feinen Versuchen nothwendig, bei diesen ist sie aber auch unentbehrlich.

Noch eine weitere Schwierigkeit erwartet den Naturforscher, sogar nachdem die vollkommene Magnetisation seiner Nadeln hergestellt ist. Diese Nadeln sind für die leiseste magnetische Einwirkung empfänglich, und gewöhnlich enthält der übersponnene Kupferdraht, woraus die Windungen des Galvanometers bestehen, eine Spur von Eisen, welche hinreicht, um die präparirte Nadel aus ihrer richtigen Stellung abzulenken. Bei einigen meiner Drähte betrug die Ablenkung dreissig Grad, und an den wundervollen Instrumenten, welche Professor Du Bois Reymond zu seinen Untersuchungen über thierische Elektricität benutzt, sind die durch den Draht hervorgebrachten Abweichungen oft noch beträchtlicher. Auch Melloni erfuhr diese Schwierigkeit und schlug vor, die Drähte durch Agatlöcher hindurch zu ziehen, um dadurch jede Berührung mit Stahl oder Eisen zu vermeiden. Die Störung wurde von jeher dem Eisengehalte im Kupferdrahte zugeschrieben; man hat deshalb auch schon vorgeschlagen, reines Silber anstatt des Kupfers zum Drahte zu verwenden.

Professor Magnus in Berlin stellte durch einen sehr mühsamen elektrolytischen Process reines Kupfer her, um seine schönen thermo-elektrischen Untersuchungen auf befrie-

digende Weise fortsetzen zu können. Das Metall musste jedoch noch acht Mal nach einander geschmolzen werden, ehe man Draht daraus ziehen konnte. In der That war die genannte Verunreinigung der Drahtrollen für die Genauigkeit der Instrumente so störend, dass auch der grösste Aufwand von Mühe gut angewendet war, um diesem grossen Uebelstande abzuhelfen.

Meine eigenen Erfahrungen in Bezug auf diesen Punkt sind lehrreich. Ich liess mir vor einigen Jahren einen schönen Apparat durch Sauerwald in Berlin anfertigen. Die Doppelnadel daran wich jedoch um volle 30 Grad vom Nullpunkte ab, auch wenn kein Strom durch den Draht ging. Es war ganz unmöglich, genaue Messungen mit diesem Instrumente anzustellen.

Ich liess den Draht durch Herrn Becker entfernen und statt dessen einen englischen Draht anbringen und die Abweichung sank auf drei Grad.

Dies war ein grosser Fortschritt, genügte jedoch noch nicht für meinen Zweck. Ich zog Erkundigungen ein über die Möglichkeit, reines Kupfer zu erlangen, erhielt jedoch keinen ermuthigenden Bescheid. Schon war ich der Verzweiflung nahe, als der folgende Gedanke in mir aufstieg:

Die Wirkung der Drahtrolle kann einzig einer Beimischung von Eisen im Kupfer zugeschrieben werden, denn reines Kupfer ist diamagnetisch und wird von einem starken Magneten sogar schwach zurückgestossen. Ich konnte also den Magneten selbst als Mittel zur augenblicklichen Untersuchung benutzen und konnte mit seiner Hülfe sofort erkennen, ob mein Draht frei sei von dem magnetischen Metalle oder nicht.

Der Sauerwald'sche Draht wurde von dem Magneten kräftig angezogen, der Becker'sche ebenfalls, jedoch in viel geringerem Grade.

Beide Drähte waren mit grüner Seide übersponnen; ich entfernte dieselbe, der Berliner Draht wurde jedoch noch immer angezogen; der englische Draht hingegen wurde von dem Magneten schwach abgestossen, als er unbedeckt demselben genähert wurde. Der letztere war wirklich diamagnetisch, und enthielt keine nachweisbare Spur von Eisen. Die ganze Schuld fiel also auf die grüne Seide zurück, zu deren Fär-

bung man eine eisenhaltige Substanz verwendet hatte, welcher offenbar die Abweichung der Nadel vom Nullpunkte zuzuschreiben war.

Ich liess also den grünen Ueberzug abnehmen und den Draht mit weisser Seide überspinnen, was jedoch nur mit reinen Händen vorgenommen werden darf. Ein vollkommenes Instrument war das Resultat. Die Nadel kehrt genau auf den Nullpunkt zurück, wenn sie von dem elektrischen Strome befreit ist, und erleidet keinerlei magnetische Einwirkungen mehr von Seiten des Drahtes. In der That hatten wir das Mittel, um uns von dem Hinderniss der magnetischen Drähte zu befreien, in der Hand, während wir uns über Agatplatten und andere gelehrte Hülfsmethoden besannen. Wenn wir in Zukunft unseren Kupferdraht vermittelst des Magneten aussuchen, so wird es nicht schwer sein, denselben magnetisch frei und rein zu finden.

Zweites Kapitel.

Das Wesen der Wärme. — Die materielle Theorie. — Die dynamische Theorie. — Wärmewirkung der bewegten Luft. — Wärmeerzeugung durch Drehung zwischen den Polen eines Magneten. — Versuche von Rumford, Davy und Joule. — Das mechanische Aequivalent der Wärme. — Wärmeerzeugung durch Geschosse. — Von der Wärme, die erzeugt würde durch Hemmung der Erdbewegung. — Meteorische Theorie von der Sonnenwärme. — Von der Flamme in ihrer Beziehung auf die dynamische Theorie.

Anhang: Auszüge aus Baco und Rumford.

---

17. Wir haben bei unserer vorigen Zusammenkunft an diesem Orte die Entwicklung von Wärme durch mechanische Kraft an einer Reihe von geeigneten Versuchen erläutert. Der menschliche Geist bedarf jedoch zu seiner Befriedigung mehr als blosse Thatsachen; wir wünschen auch deren Ursachen zu erfahren, und forschen nach dem Principe, dessen Wirksamkeit den Naturerscheinungen zu Grunde liegt. Warum entsteht Wärme durch mechanische Arbeit, und was ist das eigentliche Wesen des so entstandenen Agens? Zwei Theorien wetteifern, um diese Fragen zu beantworten. Lange Zeit hindurch hatte die eine derselben — die materielle Theorie — eine grössere Zahl von Anhängern. Innerhalb eines gewissen Gebietes waren ihre Annahmen von sehr einfacher Art, und diese Einfachheit sicherte ihr den allgemeinen Anklang.

Diese materielle Theorie macht die Wärme zu einer Art Stoff; zu einem feinen Fluidum, das in den Zwischenräumen der Körperatome aufgehäuft ist. Der Chemiker Gmelin z. B. definirt in seinem Handbuch der Chemie die Wärme folgendermaassen als: „diejenige Substanz, deren Eintritt in unseren Körper das Gefühl der Wärme, deren Austritt das Gefühl der Kälte in uns erregt.“ Auch spricht er von der Wärme, als ob sie sich mit Körpern verbände, so wie eine wägbare Substanz mit der anderen, und noch verschiedene andere hervorragende Chemiker behandeln diesen Gegenstand aus demselben Gesichtspunkt.

18. Die Entwicklung von Wärme durch mechanische Mittel war eine grosse Schwierigkeit für die Anhänger der obigen Theorie, insofern deren Erzeugung unbegrenzt zu sein schien; sie glaubten jedoch einen Ausweg zu finden vermittelst der Thatsache, (welche ich später ausführlicher erläutern werde), dass die Kraft, Wärme aufzunehmen, wenn ich mich dieses Ausdrucks bedienen darf, verschiedenen Körpern in verschiedenem Grade zukommt. Man nehme zum Beispiel 1 Pfund Wasser und 1 Pfund Quecksilber und erwärme beide Flüssigkeiten von 50 auf 60 Grad. Die absolute Wärmemenge, welche das Wasser bedarf, um seine Temperatur um 10 Grad zu erhöhen, ist reichlich 30 Mal grösser, als die, welche das Quecksilber erfordert. Der technische Ausdruck dafür lautet: das Wasser habe eine grössere Wärmecapacität als das Quecksilber, und das Wort Capacität bezeichnet zugleich den Standpunkt derjenigen, welche es einführten. Man nahm an, das Wasser besitze die Fähigkeit, das Caloricum oder den Wärmestoff in sich aufzuspeichern und soviel von demselben zu verschlucken, dass man 30 Maasseinheiten von diesem Wärmestoff nöthig habe, um dieselbe wahr-

nehmbare Wirkung bei dem Wasser hervorzubringen, welche eine Maasseinheit bei dem Quecksilber hervorbringt.

19. Jede Substanz besitzt in höherem oder niedrigerem Grade die scheinbare Fähigkeit, die Wärme aufspeichern zu können. So besitzt sie unter andern auch das Blei; und unser Versuch mit der durch Druck erwärmten Bleikugel wurde von den Anhängern der materiellen Theorie auf folgende Weise erklärt. Sie meinten, das Blei habe vor dem Zusammenpressen eine grössere Wärmecapacität als nachher; die Grösse seiner Vorrathsräume zwischen den Atomen werde durch den Druck vermindert; und es komme deshalb ein Theil der früher verborgenen Wärme durch den Druck zum Vorschein, indem die zusammengepresste Substanz dieselbe nicht länger in sich verbergen könne.

In ähnlicher Weise wurden die Versuche betreffs der Reibung und des Stosses erklärt. Die Anhänger der materiellen Theorie verwarfen den Gedanken, dass neue Wärme erzeugt werden könne. Ihrer Ansicht nach wäre die Menge der Wärme eben so unveränderlich, als die Menge der wägbaren Substanzen, und könnte man weder durch mechanische noch durch chemische Kräfte mehr erreichen, als die Wärme irgendwo anzusammeln, oder aber sie aus ihren Schlupfwinkeln an das Tageslicht zu bringen.

20. Die dynamische oder, wie sie auch zuweilen genannt wird, die mechanische Wärmetheorie verwirft den Begriff, als sei die Wärme ein Stoff. Die Anhänger dieser Theorie halten die Wärme nicht für einen Stoff, sondern für einen accidentellen Zustand des Stoffes, nämlich für eine Bewegung seiner elementaren Bestandtheile. Die unmittelbare Beobachtung gewisser Wärmeerscheinungen führt den denkenden Geist instinkt-

mässig auf die Vermuthung, dass die Wärme eine Art der Bewegung sei. Baco*) war dieser Ansicht; und Locke stellte eine ähnliche in besonders glücklicher Weise auf. Er sagt: „die Wärme ist eine sehr lebhafte Bewegung der unwahrnehmbaren, kleinsten Theile eines Gegenstandes, welche in uns diejenige Empfindung hervorruft, wegen deren wir den Gegenstand als warm bezeichnen. Was in unserer Empfindung als Wärme erscheint, ist also am Gegenstande selbst nur Bewegung."

Ich habe die Versuche des Grafen Rumford bei Gelegenheit des Kanonenbohrens schon früher erwähnt**). Er bewies, dass die von seiner Kanone abgefallenen Späne ihre Wärmecapacität nicht verändert hatten, und sammelte überdies noch die Splitter und Staubmassen, welche durch das Abreiben des Metalles entstanden waren, wog Beides, und frug, ob man denn glauben könne, dass die von ihm erzeugte Wärmemenge gänzlich aus diesen Metalltheilchen herausgepresst worden sei. Eben so gut hätte er den Anhängern einer solchen Ansicht zurufen können: „Ihr habt Euch nicht die Mühe genommen zu untersuchen, ob die Reibung einen Wechsel in der Wärmecapacität des Metalles hervorgebracht hat. Ihr seid zwar sehr erfinderisch in Gründen, wenn es gilt, Eure Theorie vom Untergang zu retten, jedoch sehr langsam, wenn es sich darum handelt, zu untersuchen, ob diese Gründe nicht bloss fein gesponnene Einbildungen Eures eigenen Gehirnes sind." Theorien sind uns unentbehrlich, aber

*) Siehe Anhang zu diesem Kapitel.

**) Es gereicht mir zum besonderen Vergnügen, den Leser auf den Auszug aus der Abhandlung des Grafen Rumford über Wärmeerzeugung durch Reibung aufmerksam zu machen, welcher im Anhang zu diesem Kapitel enthalten ist. Rumford vernichtet darin die materielle Wärmetheorie. — Es ist seitdem kaum etwas Wichtigeres über diesen Gegenstand geschrieben worden.

zuweilen wirken sie wie ein Narcoticum auf den Geist. Man gewöhnt sich daran, wie an den Genuss des Branntweins, und fühlt sich aufgeregt und missvergnügt, wenn der Phantasie dieses Reizmittel entzogen wird.

21. An dieser Stelle tritt ein Versuch von Sir H. Davy*) in seiner vollen Bedeutung hervor. Eis ist festes Wasser, und hat in diesem Zustande nur die Hälfte von derjenigen Wärmecapacität, welche das flüssige Wasser besitzt. Dieselbe Wärmemenge, welche ein Pfund Eis um zehn Grad zu erwärmen vermag, kann ein Pfund Wasser nur um fünf Grad erwärmen. Es ist ferner eine sehr grosse Wärmemenge dazu nöthig, um Eis in flüssigen Zustand zu bringen; wobei diese Wärme so gänzlich absorbirt oder latent gemacht wird, dass sie auf das Thermometer gar nicht mehr wirkt. Die Frage von der „latenten Wärme" werden wir an gehöriger Stelle, seiner Zeit erörtern; für jetzt möchte ich Ihnen nur klar machen, dass flüssiges Wasser auf dem Gefrierpunkt einen viel grösseren Wärmegehalt besitzt, als Eis bei derselben Temperatur.

22. Davy zog folgenden Schluss**): „Wenn ich Eis durch Reibung flüssig mache, so wird eine Substanz producirt, welche einen viel bedeutenderen Gehalt an absoluter Wärme enthält als das Eis; und in diesem Falle kann man vernünftiger Weise nicht behaupten, dass ich nur eine in der gefrorenen Masse vorher verborgene Wärmemenge jetzt wahrnehmbar gemacht hätte. Das Flüssigwerden des Eises beweist hier endgültig eine Wärmeerzeugung."

Er machte den Versuch, schmolz das Eis durch blosse Reibung, und dieses Resultat gilt bei Einigen für das erste, welches die Immaterialität der Wärme unzweifelhaft erwies.

---

*) Works of Sir. H. Davy, vol. II, pag. 11.

**) Ebendaselbst.

23. Wenn ein Hammer an eine Glocke schlägt, so wird seine Bewegung gehemmt, allein seine Kraft wird nicht zerstört; sie hat die Glocke in Schwingungen versetzt, welche sich der Luft mittheilen und sich unseren Gehörnerven als Ton kundgeben. Dasselbe geschah, als der Schmiedehammer auf unsere bleierne Kugel herabfiel: die niederfallende Bewegung des Hammers wurde zwar unterbrochen, allein nicht zerstört. Die Bewegung theilte sich den Atomen des Bleies mit, und gab sich den dazu geeigneten Nerven als Wärme kund.

Folgendes ist die Theorie, welche Rumford so wirksam vertrat und Davy so geschickt unterstützte*): Die Wärme sei eine Art Molekularbewegung, und diese Bewegung könne sowohl durch Reibung, Druck und Stoss, als durch Verbrennung erzeugt werden. Diese Theorie werde ich Ihnen nun so weit zu entwickeln suchen, bis sie Ihnen vollständig klar geworden ist. Sie müssen sich jedoch für den Anfang mit Geduld waffnen. Wir begeben uns jetzt in ein Dickicht und bearbeiten das Gestrüppe aufs Gerathewohl. Doch machen wir uns auf diese Weise mit dem Wesen unserer Aufgabe im Allgemeinen bekannt, und mit rechter Ausdauer werden wir auch über alle Schwierigkeiten derselben Herr werden.

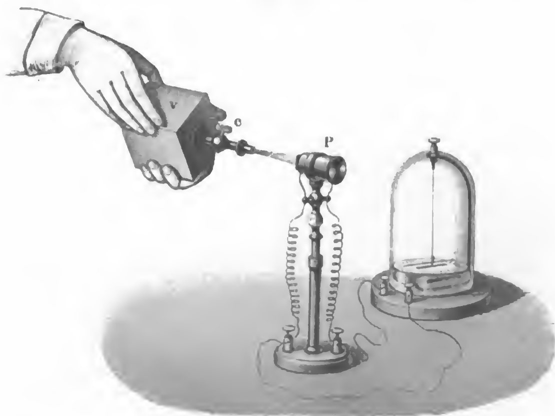
24. Sie haben bereits die Wirkung beobachtet, welche ein gegen die Oberfläche der thermo-elektrischen Säule gerichteter Strom von comprimirter Luft hervorbrachte;

---

*) Davy nennt die Wärme in seiner ersten wissenschaftlichen Abhandlung eine abstossende Bewegung, welche, wie er sagt, auf verschiedene Weise verstärkt werden kann. Erstens durch Umwandlung der mechanischen Bewegung in eine abstossende, d. h. durch Reibung oder Stoss. In diesem Falle ist die von der Masse verlorene mechanische Bewegung die von den Atomen gewonnene abstossende Bewegung. — Dies ist eine äusserst bemerkenswerthe Stelle. Einige andere Auszüge aus dieser Schrift folgen im Anhang zum dritten Kapitel.

das Instrument wurde durch denselben abgekühlt. Nun wird aber Wärme entwickelt, indem man die Luft zusammenpresst, und ich bin schon wiederholt gefragt worden, was aus dieser Wärme in der comprimirten Luft bei dem eben besprochenen Versuche geworden sei. Ich bitte Sie auf meine Antwort zu achten. Angenommen, das die Luft enthaltende Gefäss bestände aus einer Substanz, welche für Wärme durchaus undurchdringlich wäre, angenommen ferner, dass alle Wärme, die mein Arm entwickelte, indem er die Luft zusammenpresste, innerhalb dieses Gefässes zurückgehalten würde: so würde diese Quantität Wärme gerade hinreichen, um mein Werk zu vernichten und die Luft zu ihrer ursprünglichen Temperatur und Ausdehnung zurückzuführen. Allein dieses Gefäss (Fig. 12) ist

Fig. 12.



nicht undurchdringlich für die Wärme, auch war es nicht meine Absicht, die durch meinen Arm entwickelte Wärme

zu benutzen; ich liess deshalb das Gefäss ruhig stehen, nachdem ich die Luft verdichtet hatte, bis alle durch den Druck entstandene Wärme zerstreut war, und dieselbe Temperatur innerhalb wie ausserhalb des Gefässes herrschte. Als die Luft ausströmte, hatte sie demnach nicht mehr die durch den Druck entstandene Wärme zu ihrer Verfügung. Die Wärme, welche ihr elastische Kraft verlieh, war nur noch genügend, um sie auf der Temperatur der äusseren Atmosphäre zu erhalten. Indem sie aber Arbeit leistete, wurde ein Antheil dieser Wärme, welcher der geleisteten Arbeit äquivalent ist, verbraucht, und die ausströmende Luft war demzufolge abgekühlt. Verlieren Sie nicht den Muth, wenn Ihnen diese Schlussfolgerung nicht ganz klar erscheint. Wir befinden uns jetzt noch in verhältnissmässiger Dunkelheit; das Licht wird aber nach und nach hervorbrechen, während wir vorwärts schreiten, und noch nachträglich unsere jetzige Finsterniss erleuchten.

Fig. 13.



25. Ich möchte Ihnen jetzt beweisen, dass Wärme durch das Zusammenpressen der Luft erzeugt wird. Sie sehen hier einen starken Glascylinder *T U* (Fig. 13), welcher genau cylindrisch gebohrt und innerlich ganz glatt ist. Dieser Kolben ist luftdicht eingepasst; wenn ich denselben also niederdrücke, wird die darunter befindliche Luft gewaltsam zusammengepresst, und während sie plötzlich zusammengepresst wird, entsteht eben so schnell Wärme. Ich werde Ihnen dies beweisen. Hier ist ein Stückchen Baumwolle, welche mit dieser entzündlichen Flüssigkeit, nämlich mit Schwefelkohlen-

stoff, getränkt ist. Ich werfe die befeuchtete Baumwolle in den Glascylinder, entferne sie aber sofort wieder daraus. Sie hinterlässt etwas rückständigen Dampf. Nun presse ich die Luft plötzlich zusammen, und Sie sehen einen Lichtblitz innerhalb des Cylinders.

Die durch den Druck entstandene Wärme genügte, um den Dampf zu entzünden. Es ist jedoch nicht nöthig, die Baumwolle zu entfernen. Ich lege dieselbe abermals in die Röhre, und treibe den Stempel ein; Sie sehen den Blitz wie zuvor. Wenn die durch Verbrennung entstandenen Dünste vermittelst einer engen Glasröhre jedesmal hinausgeblasen werden, so kann ich, ohne die Baumwolle aus dem Cylinder zu entfernen, den Versuch 20 Mal nacheinander wiederholen und jedesmal die Flamme hervorbringen *).

26. Ich habe hier noch einen Versuch vorbereitet, der Ihnen ein anderes Beispiel von den Temperaturveränderungen geben wird, welche in der Luft durch ihre eigene mechanische Wirkung entstehen. Hier ist eine zinnerne, an beiden Enden geschlossene, und mit der Luftpumpe in Verbindung gesetzte, Röhre. Dieselbe ist gegenwärtig mit Luft angefüllt und liegt mit ihrer gerundeten Aussenseite gegen eine der Flächen der thermoelektrischen Säule an. Das Instrument zeigt an, dass diese Fläche durch die Röhre erwärmt worden ist. Ich war auf dieses Ergebniss vorbereitet, weil ich wusste, dass die innerhalb der Röhre befindliche Luft wärmer sei, als die äussere. Die abkühlende Wirkung, welche ein Strom von zusammengepresster Luft auf das Instrument ausübt, ist bereits gezeigt worden. Doch

*) Im Anhang zu diesem Kapitel habe ich den Zufall erwähnt, welcher zu diesem Versuche führte.

haben wir es bei dem vorliegenden Versuche nicht mit dem Wärmezustand des Luftstromes, sondern mit dem des Gefässes zu thun, in welchem die Arbeit vollzogen wird. Mein Assistent wird die Pumpe in Bewegung setzen, die Cylinder der Luftpumpe werden entleert, und die Luft innerhalb der Zinnröhre wird durch ihre eigene elastische Kraft in die entleerten Cylinder getrieben werden. In dem Maasse wie die Röhre ausgepumpt wird, werden Sie die Magnetnadel, welche gegenwärtig durch die Wärme bedeutend abgelenkt ist, auf Null zurückkehren und bis zu 90° in Richtung der Kälte hinübergehen sehen. Die Pumpe arbeitet jetzt; bemerken Sie die Wirkung: die Nadel fällt, wie ich vorhersagte, und ihr Fortschritt in Richtung der Kälte wird nur durch das Anprallen gegen ihre Hemmung aufgehalten.

27. Drei Pumpenzüge genügen, um die Röhre so abzukühlen, dass die Nadel auf 90 Grad fliegt *). Wir wollen dieselbe jetzt zur Ruhe kommen lassen. Es würde uns zu viele Zeit wegnehmen, wollten wir abwarten, bis die Röhre wieder die Temperatur des Zimmers erreicht hat; allein die Nadel ist jetzt ziemlich ruhig, obwohl noch stark nach Seite der Kälte hin abgelenkt. Drehe ich diesen Hahn auf, so wird die Luft hineinstürzen, und jedes ihrer Atome wird an die innere Seite der Röhre wie ein Wurfgeschoss anprallen. Die mechanische Bewegung der Atome wird dadurch vernichtet, und dafür eine der Bewegung entsprechende Wärmemenge erzeugt

*) Das zu diesem Versuch angewendete Galvanometer war dasselbe sehr empfindliche Instrument, welches ich zu meinen eigenen Untersuchungen benutze. Zu obigen Versuchen war seine Scala mit elektrischem Lichte erleuchtet und ein Abbild derselben, das 2 Fuss im Durchmesser hatte, wurde auf einen Schirm geworfen.

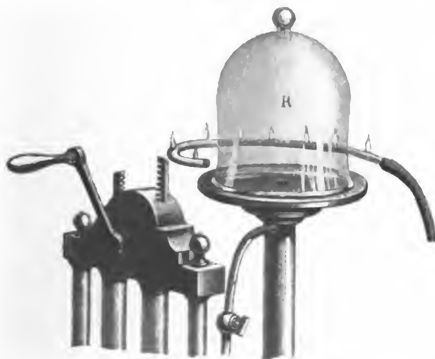
werden. Diese Wärme wird genügen, um die Röhre zu erwärmen, die gegenwärtige Ablenkung aufzuheben und die Nadel auf die andere Seite des Nullpunktes zu treiben. Die Luft strömt nun ein, — sehen Sie die Wirkung; — die Nadel bewegt sich und geht bis zu 90° in der Richtung, welche Wärme anzeigt *).

28. Ich werde Ihre Aufmerksamkeit jetzt auf eine interessante Thatsache zu lenken haben, welche mit der Erkältung der Luft durch Verdünnung derselben im Zusammenhange steht. Ich setze eine grosse Glasglocke, welche gegenwärtig Luft aus diesem Zimmer enthält, auf den Teller der Luftpumpe. Die Luft enthält, wie überhaupt jede Luft, falls sie nicht künstlich getrocknet wird, eine Menge von wässerigen Dünsten, welche als solche ganz unsichtbar sind. Eine gewisse Temperatur ist nöthig, um die Dünste in diesem unsichtbaren Zustande zu erhalten; wenn man die Luft unter diese Temperatur abkühlt, so werden sich die Dünste augenblicklich verdichten und eine sichtbare Wolke bilden. Eine solche Wolke, welche, wie Sie sich erinnern werden, jedoch nicht mehr aus Dunst, sondern aus flüssigem Wasser in feiner

*) Bei diesem Versuche war die Oberfläche der Röhre nur längs einer Linie in Berührung mit der Säule, und die Wärme musste die Metallhülle durchdringen, um das Instrument zu erreichen. Ehe ich mich zu dieser Einrichtung entschloss, hatte ich die Röhre durchbohren und mit einer eigenen, luftdicht eingelötheten, Säule versehen lassen, deren unbedeckte Oberfläche in das Innere der Röhre hineinreichte. Die Säule kam auf diese Weise in directe Berührung mit der Luft und war auf ihrer ganzen Fläche der erwärmenden Wirkung ausgesetzt. Die so erzielten Wirkungen waren sehr kräftig — genügten in der That, um die Nadel ganz in die Runde zu treiben. — Der Wunsch, den Gegenstand so wenig als möglich zu compliciren, veranlasste mich jedoch, die eingelöthete Säule aufzugeben und das Instrument zu benutzen, welches den Zuhörern bereits bekannt war. Auch bei der gegenwärtigen Einrichtung erlangte ich so starke Resultate, dass ich die mir zu Gebote stehende Leistungsfähigkeit der Apparate nur theilweise anzuwenden brauchte.

Vertheilung besteht, wird sich innerhalb dieser Glasglocke *R* (Fig. 14) bilden, nachdem die Luft herausgepumpt worden ist; um die Wirkung allen Anwesenden, zu meiner

Fig. 14.



Rechten, meiner Linken und mir gegenüber, sichtbar zu machen, sind diese acht Gasflammen in einem Halbkreis hinter der Glasglocke angebracht worden. Jeder Einzelne unter Ihnen kann eine oder mehrere dieser Flammen durch die Glocke erblicken; die Bildung der Wolke wird sich durch die Trübung der Flammen sofort anzeigen; die Pumpe wird rasch in Bewegung gesetzt und einige wenige Züge genügen, um den Dunst niederzuschlagen. Derselbe erfüllt die ganze Glasglocke und Manche unter Ihnen werden eine Färbung der Wolke beobachten, während das Licht durch sie hindurch scheint, ähnlich etwa, wie die Erscheinung, welche wir zuweilen im Grossen beim Monde wahrnehmen. Gestatte ich der Luft wieder den Zugang zu dem Glasbehälter, so wird sie sich genau wie bei unserem Versuche mit der Zinn-

röhre erwärmen. Die Wolke schwindet, und die vollständige Durchsichtigkeit der Luft ist wieder in der Glocke hergestellt. Ich pumpe sie nochmals aus und abermals bildet sich die Wolke; die Luft dringt wieder ein, und die Wolke verschwindet, indem die erzeugte Wärme mehr als genügend ist, um dieselbe im Zustande reinen Dunstes zu erhalten *).

29. Sir Humphry Davy spricht in seiner „Chemical Philosophy" von einer Maschine in Schemnitz in Ungarn, worin die Luft durch eine 260 Fuss hohe Wassersäule zusammengedrückt wurde. Wenn man einen Hahn öffnete und der Luft zu entweichen gestattete, so entwickelte sich ein solcher Grad von Kälte, dass die wässerigen Dünste in der Luft nicht nur niedergeschlagen wurden, sondern zu herabfallendem Schnee gefroren, während die Röhre, aus welcher die Luft entströmte, sich mit Eiszapfen bedeckte. Davy schreibt ferner:

„Dr. Darwin hat auf scharfsinnige Weise die Schneebildung auf hohen Bergen durch den Niederschlag von Dämpfen erklärt, die in der aus den Thälern und Ebenen aufsteigenden verdünnten Luft enthalten sind. Die beinahe über dem Aequator gelegenen Anden erheben sich in Mitten brennender Sandwüsten; dennoch herrscht auf

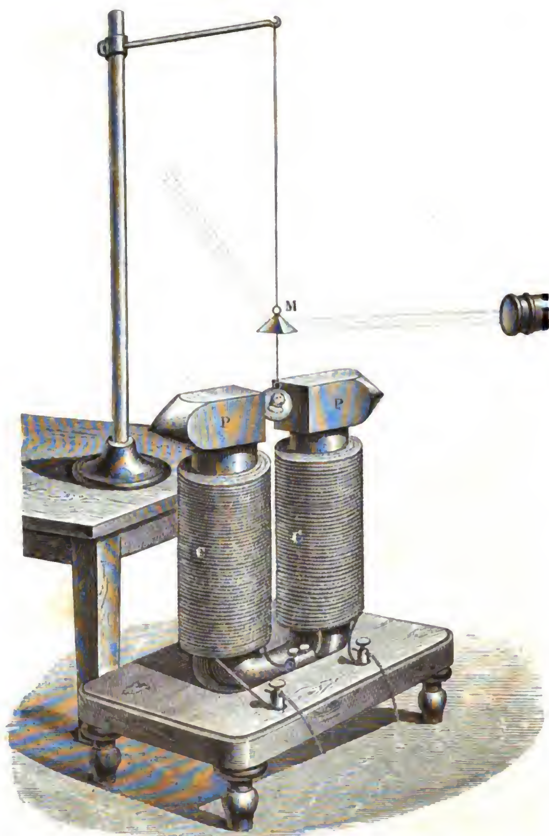
*) Später benutzte ich eine viel schönere Methode, um es sichtbar zu machen. Ich entfernte die Linse von der Camera der elektrischen Lampe, so dass die Strahlen von den Kohlenspitzen divergirend ausliefen. Ich brachte eine grosse planconvexe Linse vorn an, um den divergirenden Strahlenkegel in einen convergirenden zu verwandeln, und liess ihn durch die Glocke scheinen. Zuerst bemerkte man seinen Schein nicht, einige Pumpenzüge brachten jedoch den Niederschlag hervor, und nun glich der Weg der Lichtstrahlen einem festen, weissen Stabe. Der Schein fiel durch die Glocke auf einen weissen Schirm, und zeigte daselbst die schönsten Diffractionsfarben, als die Wolke sich gebildet hatte.

ihrer halben Höhe ein angenehmes mildes Klima und ihre Gipfel sind mit ewigem Schnee bedeckt.“

30. Ich möchte Ihre Aufmerksamkeit jetzt auf einen anderen Versuch lenken, wobei die Wärme durch ein Agens erzeugt wird, das manchen unter Ihnen sehr geheimnissvoll erscheinen mag, und von dem in der That auch die Unterrichtetsten unter uns sehr wenig wissen. Ich wünsche Wärme durch das, was man Reibung gegen den leeren Raum nennen könnte, zu entwickeln. Es ist dies möglicher oder wahrscheinlicher Weise eine Art Reibung gegen das Medium des Weltraumes, auf welches wir später ausführlich zurückkommen werden.

31. Sie sehen diese Eisenmasse — ein Glied von einer riesigen Ankerkette — welche von vielfachen Windungen dieses Kupferdrahtes *CC* (Fig. 15 a. f. S.) umgeben ist, und welche augenblicklich in einen sehr kräftigen Magneten verwandelt werden kann, indem man einen elektrischen Strom durch den Kupferdraht leitet. Sie sehen, wie kräftig er durch diese Art der Erregung wird. Diese Feuerzange haftet daran, und diese Feilen, Schrauben und Nägel haften an der Feuerzange. Falls man ihn umkehrte, wäre dieser Magnet im Stande, an jedem Pol ein Gewicht von funfzig Pfund zu tragen, an welches sich noch zehn der schwersten Leute in diesem Zimmer anhängen könnten. Auf ein Zeichen von mir wird mein Assistent den elektrischen Strom unterbrechen: „Los!“ das Eisen fällt und die Zauberei verschwindet. Der Magnet ist jetzt nur noch gewöhnliches Eisen. Ich lege zwei Stücke Eisen *PP* — bewegliche Pole, wie sie genannt werden — auf die Enden des Magneten, welche, wenn der Magnet nicht in Kraft gesetzt ist, auf jede beliebige gegenseitige Entfernung gebracht werden können. Hingegen bilden diese Eisenstücke einen wirksamen Theil

Fig. 15.



des Magneten, so wie der elektrische Strom hindurch geht. Ich werde zwischen beide eine Substanz bringen, welche der Magnet, auch wenn er seine höchste Kraft erreicht, nicht anzuziehen im Stande ist. Diese Substanz besteht einfach aus einem Stückchen Silber, einer silbernen Medaille. Ich bringe dieselbe ganz in die Nähe des erregten Magneten, ohne dass Anziehung erfolgte. In der That ist die schwache Einwirkung — sie ist so schwach, dass sie in diesen Versuchen gar nicht sichtbar wird — welche der Magnet auf das Silber ausübt, zurückstossender anstatt anziehender Natur.

32. Ich hänge diese Medaille zwischen den Polen *PP* des Magneten auf und errege den letzteren, die Medaille bleibt ruhig hängen, wird weder angezogen noch zurückgestossen; versuche ich jedoch sie zu bewegen, so begegne ich einem Widerstand. Um die Medaille umzudrehen, muss ich den Widerstand überwinden; das Silber bewegt sich, als ob es von einer zähen Flüssigkeit umgeben wäre. Diese eigenthümliche Wirkung kann auch auf folgende Weise sichtbar gemacht werden: Hier ist eine rechtwinkelige Kupferplatte; wenn ich dieselbe rasch in der Art einer Säge zwischen den mit ihren Spitzen gegen dieselbe gerichteten Polen hin und her bewege, so kommt es mir vor, als sägte ich durch eine käse- oder butterähnliche Masse*). Nichts Derartiges ist bemerkbar, wenn der Magnet unthätig ist; die Kupfersäge findet keinen anderen, als den unendlich schwachen Widerstand der Luft. Bis hierher waren Sie genöthigt, meine Behauptungen auf Treue und Glauben hinzunehmen; ich habe jedoch einen Versuch vorbereitet, der die seltsame Einwirkung des Magneten auf die silberne Me-

*) Ein Versuch Faraday's.

daille auch Ihnen in schlagender Weise offenbar machen soll.

33. Oberhalb der Medaille und durch ein Stückchen Draht mit ihr verbunden, ist eine kleine reflectirende Pyramide *M* angebraht; dieselbe ist aus vier dreieckigen Stücken Spiegelglas zusammengesetzt, und sowohl diese als die Medaille sind an einem gedrehten Faden aufgehängt, welcher sich aufdrehen wird, sobald das Gewicht, das er trägt, frei gemacht wird. Ich stelle eine elektrische Lampe so, dass ein starker Lichtstrahl auf die kleine Pyramide fällt. Sie sehen, wie die langen Streifen reflectirten Lichtes sich durch die stauberfüllte Luft dieses Zimmers bewegen, während der Spiegel sich dreht.

34. Lassen wir die Bewegung langsam beginnen. Der Strahl durchschneidet jetzt dieses Zimmer und trifft die weisse Wand. Wenn der Spiegel sich zu drehen beginnt, so bewegt sich der Lichtstreifen, zuerst langsam, an der Decke und Wand entlang. Allein die Bewegung wird rascher; nun können Sie schon die einzelnen Lichtstreifen nicht mehr unterscheiden, sondern anstatt derselben gewahren Sie dieses prächtige leuchtende Band, das mit einem Durchmesser von 20 Fuss durch die rasche Drehung der reflectirten Strahlen längs der Wand gebildet wird. Auf das gegebene Zeichen wird der Magnet erregt und die Bewegung der Medaille sofort gehemmt werden. „Schluss!“ Sehen Sie die Wirkung: die Münze ist unter der Einwirkung des Magneten scheinbar vom Blitze gelähmt. Das leuchtende Band verschwindet plötzlich, und Sie sehen wieder den einzelnen Lichtflecken an der Wand. Diese seltsame mechanische Wirkung entsteht, ohne dass irgend eine sichtbare Aenderung sich zwischen den beiden Polen vollzogen hätte. Beachten Sie nun die langsame Bewegung des Lichtfleckens an

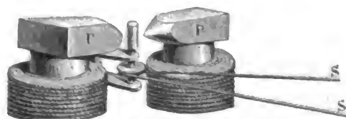
der Wand. Die Spannung des Fadens kämpft mit einem unsichtbaren Gegner und bringt diese Bewegung hervor. Letztere ist gerade so, als wäre die Medaille in ein Gefäss voll Syrup eingetaucht worden, anstatt von Luft umgeben zu sein. Ich hebe die magnetische Kraft auf, und sofort verschwindet der zähflüssige Charakter des Raumes zwischen den Polen, die Medaille dreht sich wieder wie zuvor; hier sind wieder die zurückgeworfenen Strahlen, und hier ist jetzt das leuchtende Band. Ich errege den Magneten abermals; die Strahlen werden unbeweglich und der Streifen verschwindet.

35. Durch die Kraft meiner Hand kann ich diesen Widerstand überwinden und die Medaille drehen; allein um dieselbe zu drehen, muss ich Kraft anwenden. Was wird aus dieser Kraft? Sie wird in Wärme verwandelt. Wenn die Medaille gewaltsam zur Drehung gezwungen wird, so wird sie erwärmt werden. Vielen unter Ihnen ist wohl Faraday's grosse Entdeckung bekannt, dass elektrische Ströme dadurch entwickelt werden, dass man einen elektrischen Leiter zwischen den Polen eines Magneten in Bewegung versetzt. Wir haben hier solche Ströme, und dieselben sind genügend, um die Medaille zu erhitzen. Allein welcher Art sind diese Ströme? In welcher Beziehung stehen sie zu dem Raume zwischen den magnetischen Polen und zu der Muskelkraft, welche zu ihrer Erzeugung verbraucht wurde? Noch wissen wir es nicht; aber nach und nach werden wir es erfahren. Dieser Versuch wird dadurch nicht weniger interessant, dass die Kraft meines Armes noch in einer anderen Form, nämlich in der der Elektricität, erscheint, ehe sie als Wärme zum Vorschein kommt. Das Resultat bleibt dasselbe: die schliesslich erzeugte Wärme ist das genaue Aequivalent der Kraft, welche angewandt wurde, um die

Medaille in dem erregten magnetischen Felde zu bewegen.

36. Ich will Ihnen jetzt die Wärmeentwicklung durch diesen Vorgang zeigen. Hier ist ein massiver Metallcylinder, dessen innerer Kern aus einem leichter schmelzbaren Metalle besteht, als seine äussere Hülle. Die äussere Hülle besteht aus Kupfer, das mit einer harten aber leicht schmelzbaren Mischung ausgefüllt ist. Ich stelle diesen Cylinder aufrecht zwischen die kegelförmigen Pole *P P* (Fig. 16) des Magneten. Eine Schnur

Fig. 16.



S S geht von dem Cylinder bis an eine Drehbank, und dadurch, dass ich letztere trete, wird der Cylinder in schnellen Umlauf versetzt. Bei unerregtem Magneten könnte er sich jedoch bis zum jüngsten Tage fortdrehen, ohne dass die gewünschte Wirkung zum Vorschein käme. Wenn wir den Magneten aber zur Thätigkeit bringen, so wird ein Grad von Wärme sich entwickeln, der hinreichend ist, um das Innere des Cylinders zu schmelzen, und, wenn der Versuch gelingt, so werde ich das flüssige Metall vor ihren Augen ausgiessen. Zwei Minuten sind hierzu genügend. Der Cylinder dreht sich jetzt und ist an seinem oberen Ende offen. Ich werde dasselbe unbedeckt lassen, bis das flüssige Metall über die Pole des Magneten zu spritzen beginnt. Ich sehe schon den metallischen Sprühregen, obwohl kaum eine Minute seit

dem Beginne des Versuches verflossen ist. Ich unterbreche nun die Bewegung auf einen Augenblick und verkorke das obere Ende des Cylinders, um den Verlust des Metalles zu verhindern. Setzen wir unser Verfahren noch eine halbe Minute fort, so bin ich überzeugt, dass der ganze Kern geschmolzen ist. Nun nehme ich den Cylinder weg, entferne den Kork und schütte hiermit das geschmolzene Metall vor Ihnen aus *).

37. Es ist jetzt Zeit, genauer als bisher zu erwägen, welches Verhältniss zwischen der durch mechanische Arbeit hervorgebrachten Wärme und der Kraft, welche sie erzeugte, besteht. Gewiss schwebte eine unbestimmte Vorstellung von diesem Verhältnisse schon manchem Geiste vor, ehe dasselbe eine genaue Fassung erhielt und durch Thatsachen bewiesen wurde. Der berühmte Montgolfier trug sich bereits mit dem Gedanken von der Aequivalenz der Wärme und der mechanischen Arbeit, und seine Idee wurde von seinem Neffen Mr. Séguin in dessen 1839 gedruckten Werke „Ueber den Einfluss der Eisenbahnen" weiter entwickelt. Wer über die Lebensprocesse, über die Veränderungen in dem thierischen Körper, über das Verhältniss der in der Nahrung enthaltenen Kraft zu der Muskelkraft nachdenkt, der wird von selbst zu dem Gedanken an die gegenseitige Abhängigkeit dieser Kräfte hingeleitet werden. Es ist deshalb nicht zu verwundern, dass ein Arzt der Erste war, der den Begriff der Aequivalenz der Wärme und der mechanischen Kraft, und den

*) Die Erzeugung von Wärme durch Umdrehung eines elektrischen Leiters zwischen den Polen eines Magneten wurde zuerst von Dr. Joule zu Stande gebracht (Philosoph. Mag. vol. XXIII, 3. Series, 1843, pp. 355 und 439), und Foucault hat später diesem Versuch eine sehr überraschende Form gegeben. Der oben beschriebene Kunstgriff, die Schmelzung des Inneren eines Cylinders, ist für öffentliche Vorlesungen sehr geeignet.

der gegenseitigen Verwandlungsfähigkeit der Naturkräfte überhaupt in seinem Geiste zu philosophischer Klarheit herausarbeitete. Dr. Mayer aus Heilbronn in Würtemberg gab im Jahre 1842*) das genaue Verhältniss an, welches zwischen Wärme und Arbeit besteht. Er berechnete zuerst das „mechanische Aequivalent der Wärme", und verfolgte dann, wie wir zu seiner Zeit zeigen werden, das aufgestellte Princip in seine äussersten Consequenzen. Herrn Joule in Manchester verdanken wir jedoch fast allein die experimentelle Behandlung dieses wichtigen Gegenstandes, und ihm gebührt das Verdienst, zuerst einen entschiedenen Beweis für die Richtigkeit dieser Theorie geliefert zu haben**). Ganz unabhängig von Mayer, einzig mit diesem Gesetze beschäftigt, nicht entmuthigt durch die Gleichgültigkeit, womit man, wie es scheint, seine ersten Arbeiten aufnahm, setzte er Jahre lang seine Versuche beharrlich fort, um die Unveränderlichkeit des Verhältnisses, welches zwischen der Wärme und der gewöhnlichen mechanischen Kraft besteht, zu beweisen. Er goss Wasser in ein passen-

*) Liebig's Annalen Bd. XLII, p. 233; Phil. Mag. Ser. 4, vol. XXIV, p. 371, und im Résumé Phil. Mag. vol. XXV, p. 378. Ich verdanke Herrn Wheatstone die Kenntniss einer merkwürdigen und seltenen Abhandlung von G. Rebenstein mit dem folgenden Titel: Fortschritt unserer Zeit. Erzeugung der Wärme ohne Brennmaterial, oder Beschreibung eines mechanischen, auf physikalische und mathematische Beweise gestützten Verfahrens, mittels dessen Hitze aus der atmosphärischen Luft entnommen und im hohen Grade concentrirt werden kann. Der wohlfeilste Ersatz für Brennmaterial in allen Fällen, wo Feuerung nöthig ist. Rebenstein deducirt aus den Versuchen von Dulong die Menge der Wärme, die sich bei dem Zusammenpressen von Gas entwickelt. Es ist jedoch keine Ahnung der dynamischen Theorie in dieser Schrift enthalten; seine Wärme ist Materie — der Wärmestoff, der aus der Luft gepresst wird, wie Wasser aus einem Schwamme.

**) Phil. Mag. Aug. 1863. Herrn Joule's Versuche über das mechanische Aequivalent der Wärme dehnen sich vom Jahre 1843 bis 1849 aus.

des Gefäss, bewegte das Wasser durch Schaufelräder und bestimmte sowohl die Menge der Wärme, welche durch die Bewegung des Wassers entstand, als die Menge der Arbeit, welche auf deren Erzeugung verwendet wurde. Er wiederholte den Versuch mit Wallrathöl und mit Quecksilber. Er liess gusseiserne Scheiben gegen einander reiben und mass sodann die durch die Reibung entstandene Wärme und die zu ihrer Ueberwindung angewendete Kraft. Er trieb Wasser durch Capillarröhren und bestimmte die Wärmemenge, welche durch die Reibung der Flüssigkeit gegen die Röhren entstand; und die Ergebnisse seiner Versuche lassen auch nicht den leisesten Zweifel darüber, dass unter allen Umständen die Wärmemenge, welche durch denselben Betrag von Kraft erzeugt wird, fest und unveränderlich sei. Eine gegebene Menge von Kraft brachte genau dieselbe Wärmemenge hervor, gleichviel, ob diese Kraft dazu verwendet wurde, die eisernen Scheiben gegeneinander in Drehung zu versetzen, oder dazu, das Wasser, Quecksilber oder Wallrathöl zu bewegen. Natürlich war beim Schluss eines Versuches die Temperatur in jedem betreffenden Falle sehr verschieden. Die Temperatur des Wassers betrug z. B. nur $^1/_{30}$ von der des Quecksilbers, weil, wie wir bereits wissen, die Wärmecapacität des Wassers dreissig Mal grösser ist als die des Quecksilbers. Joule berücksichtigte diese Thatsache bei der Berechnung seiner Versuche, und fand, wie ich Ihnen bereits gesagt habe, trotz der grossen Temperaturunterschiede, welche in Folge der verschiedenen Wärmecapacität der angewendeten Substanzen eintraten, dass die erzeugte absolute Wärmemenge bei demselben Kraftaufwande in allen Fällen dieselbe war.

38. Es ergab sich also, dass diejenige Wärmemenge, welche dazu gehört die Temperatur von einem Pfund

Wasser um einen Grad Fahrenheit zu erhöhen, genau gleich ist derjenigen Wärmemenge, welche entstehen würde, wenn ein Pfundgewicht durch den Zusammenstoss mit der Erde seine Bewegungskraft verliert, nachdem es von der Höhe von 772 Fuss herabgefallen ist. Umgekehrt wäre die Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur von einem Pfund Wasser um einen Grad zu erhöhen, wenn man sie mechanisch anwendet, im Stande, ein Pfundgewicht 772 Fuss hoch, oder aber 772 Pfund einen Fuss hoch zu heben. Der Ausdruck „Fusspfund“ ist eingeführt worden, um auf bequeme Weise die Hebung von einem Pfund auf einen Fuss Höhe zu bezeichnen. Nimmt man also die Wärmemenge, welche nöthig ist um die Temperatur eines Pfundes Wasser um einen Grad Fahrenheit zu erhöhen, als Maassstab an, so beträgt das sogenannte „mechanische Aequivalent“ der Wärme 772 Fusspfunde. Wenn die Temperatur nach Centesimalgraden berechnet wird, so beträgt das Aequivalent 1390 Fusspfund *).

---

*) Im Jahre 1843 wurde der königlichen Gesellschaft von Kopenhagen eine Abhandlung unter dem Titel: „Thesen über die Kraft“ durch einen dänischen Naturforscher Namens Colding vorgelegt. Schon damals suchte Colding die Wärmemenge zu bestimmen, welche durch die Reibung verschiedener Metalle gegeneinander und gegen andere Substanzen erzeugt wird, und die zu ihrer Erzeugung verbrauchte Menge von mechanischer Arbeit zu berechnen. In einem Berichte über seine Forschungen (Phil. Mag. vol. XXVII, pag. 56) giebt er als Ergebniss seiner zweihundert Versuche an, dass die gewonnene Wärme immer im Verhältniss zur mechanischen Arbeit stand. Herr Colding fand, dass eine Wärmemenge, welche die Temperatur von einem Pfund Wasser um 1° C. zu erhöhen vermag, im Stande ist, ein Pfundgewicht 1148 Fuss hoch zu heben, und zwar unabhängig von dem Material, wodurch die Wärme erzeugt wurde. Er geht von dem Grundsatze aus: „die Naturkräfte seien geistige und unmaterielle Wesen, von deren Gegenwart wir nur durch ihre Herrschaft über die Natur Kenntniss erhalten; als solche Wesen seien sie natürlich allen materiellen Dingen in der Natur überlegen; da es nun offenbar ist, dass die

39. Um Ihnen die Wärmewirkung von einem aus der Höhe niederfallenden Körper eindringlich zu vergegenwärtigen, werde ich eine Bleikugel von der Decke dieses Zimmers auf den Fussboden herabfallen lassen. Die Kugel ist im gegenwärtigen Augenblick etwas kälter als die Luft dieses Zimmers, was ich Ihnen dadurch beweise, dass ich die Kugel mit der thermo-elektrischen Säule in Berührung bringe, worauf die Ablenkung der Nadel Kälte anzeigt. Eine eiserne Platte, welche auch kälter ist als die Luft dieses Raumes, wird hier auf dem Boden angebracht, damit die Kugel darauf falle. In dem oberen Stockwerk befindet sich ein Assistent, welcher die Kugel in die Höhe ziehen wird, nachdem sie an dieser Schnur befestigt worden ist. Die Kugel wird weder von ihm berührt werden, noch wird er sie gegen einen anderen Gegenstand anstossen lassen. Nun lässt er die Kugel los; sie fällt und wird von der Eisenplatte aufgefangen. Die Höhe ist jedoch zu gering, als dass der Fall viel Wärme hervorbringen könnte; wir lassen die Kugel deshalb noch drei bis vier Mal in die Höhe ziehen und wieder herabfallen. Sie werden bemerken, dass ein Stück übersponnenen Drahtes an der Kugel befestigt ist, woran ich dieselbe aufnehme, so dass meine Hand ihr niemals nahe kommt. Wir haben sie nun vier Mal herabfallen lassen, und

---

Weisheit, welche wir in der Natur bemerken und bewundern, nur durch diese Kräfte zum Ausdruck gelangt, so müssen diese Kräfte augenscheinlich in Beziehung zu der geistigen, unkörperlichen und intellectuellen Macht stehen, welche die Natur in ihrem Fortschritt leitet. Ist dieses der Fall, so können demzufolge diese Kräfte weder sterblich noch vergänglich sein. Deshalb müssen wir diese Kräfte als absolut unvergänglich betrachten." Jeder Beweggrund, der einen Menschen zur Arbeit veranlasst, hat immerhin einigen Werth, und insofern, als diese Speculationen Herrn Colding dazu brachten, Versuche anzustellen, verdienen sie auch einen gewissen Grad von Anerkennung.

ich denke, wir können die Temperatur des Bleis jetzt untersuchen. Ich bringe die Kugel, welche anfangs kalt war, abermals an die Säule, und die augenblicklich eintretende Ablenkung der Nadel zeigt uns an, dass das Metall erwärmt ist; diese Wärme ist allein der Vernichtung der Triebkraft zu verdanken, welche die Kugel besass, als sie gegen die Eisenplatte stiess. Unserer Theorie entsprechend ist die mechanische Bewegung, welche der Gesammtmasse des Bleis gemeinsam war, auf die einzelnen Atome dieser Masse übertragen worden, und hat sie in diejenige Art der Erschütterung versetzt, welche wir Wärme nennen.

40. Was ist nun der Gesammtbetrag der so erzeugten Wärme? Der Raum, welchen die Kugel im Fallen bei jedem Versuche durchschnitt, beträgt 26 Fuss. Die erzeugte Wärme ist proportional der Höhe, aus welcher der Körper herabfällt. Eine Bleikugel, welche von einer Höhe von 772 Fuss herabfiele, würde soviel Wärme entwickeln als nöthig wäre, um ihre Temperatur um 30° F. zu erhöhen, indem die Wärmecapacität des Bleis $^1/_{30}$ von der des Wassers beträgt. Deshalb müsste die erzeugte Wärme, wenn sie ganz im Blei concentrirt wäre, die Kugel um einen Grad erwärmen, wenn diese 26 Fuss hoch herabfällt, was in runder Zahl $^1/_{30}$ der Zahl 772 ist. Soviel beträgt die Wärmemenge nach einem einzigen Falle; dieselbe wird sich selbstverständlich vervierfachen, wenn die Kugel vier Mal fällt. Die Wärme ist jedoch nicht ganz in der Kugel vereinigt, sondern ist zwischen letzterer und dem Eisen, auf welches sie auffällt, vertheilt.

41. Ich brauche wohl nicht hinzuzufügen, dass die Vernichtung jeder Bewegung Wärme erzeugt, auch wenn ein Körper durch andere Mittel als die Schwerkraft in Bewegung versetzt wird. Eine Flintenkugel, welche eine

Scheibe trifft, wird sehr beträchtlich erhitzt. Das mechanische Aequivalent der Wärme macht es uns möglich, sobald wir die Geschwindigkeit einer Büchsenkugel kennen, die durch sie zu erzeugende Wärmemenge genau zu berechnen. Es ist dies ein Punkt, welcher unsere Aufmerksamkeit verdient und, indem ich mich damit beschäftige, wende ich mich hauptsächlich an diejenigen unter Ihnen, welchen auch die ersten Begriffe der Mechanik unbekannt sind. Je grösser die Höhe ist, von welcher ein Körper herabfällt, desto grösser ist, wie Jedermann weiss, die Kraft, mit welcher er zu Boden schlägt; dies rührt von der grösseren Geschwindigkeit her, welche die grössere Höhe der Kugel verleiht. Die Geschwindigkeit eines Körpers ist jedoch nicht proportional der Höhe, von welcher er herabfällt. Bei vier Mal grösserer Höhe wird die Geschwindigkeit nur verdoppelt, bei neun Mal grösserer Höhe wird die Geschwindigkeit nur verdreifacht, bei sechszehnfacher Höhe wird die Geschwindigkeit vervierfacht, oder allgemein ausgedrückt, ist die Höhe proportional dem Quadrate der Geschwindigkeit.

42. Die Wärme, welche durch das Aufprallen des fallenden Körpers entsteht, nimmt im einfachen Verhältniss der Höhe zu, folglich wächst die erzeugte Wärme wie das Quadrat der Geschwindigkeit.

43. Indem wir die Geschwindigkeit eines Wurfgeschosses verdoppeln, vervierfachen wir die Wärme, welche bei Vernichtung seiner Bewegung erzeugt wird; indem wir die Geschwindigkeit verdreifachen, vermehren wir die Wärme neun Mal; vervierfachen wir die Geschwindigkeit, so versechszehnfachen wir die Wärme und so fort.

44. Die Schwerkraft verleiht einem Körper, welcher von einer Höhe von 772 Fuss herabfällt, eine Geschwin-

digkeit von 223 Fuss in der Sekunde in runder Zahl; d. h. unmittelbar ehe der Körper die Erde erreicht, ist dieses seine Geschwindigkeit. Für eine Büchsenkugel wäre die sechsfache Schnelligkeit, d. h. 1338 Fuss in der Sekunde nicht ungewöhnlich.

45. Allein eine bleierne Büchsenkugel, die sich mit einer Geschwindigkeit von 223 Fuss in der Sekunde bewegt, würde beim Anprallen auf die Scheibe soviel Wärme erzeugen, dass die Temperatur der Kugel um 30° F. erhöht würde; bei sechs Mal grösserer Geschwindigkeit würde sie 36 Mal mehr Wärme erzeugen; 36 Mal 30 oder 1080° würde also die Zunahme der Temperatur repräsentiren, wenn die Kugel bei einer Geschwindigkeit von 1338 Fuss in der Sekunde, die Scheibe träfe, und die ganze Wärme in der Kugel selbst vereinigt bliebe. Diese Wärmemenge wäre jedoch mehr als hinreichend, um das Blei zu schmelzen; in Wirklichkeit bleibt jedoch nur ein Theil der Wärme in der Kugel zurück, indem die Gesammtmenge derselben zwischen ihr und der Scheibe sich vertheilt. Wäre die Kugel von Eisen anstatt von Blei, so wäre unter denselben Bedingungen die erzeugte Wärme bloss im Stande, die Temperatur der Kugel um $^1/_3$ von 1080° zu erhöhen, weil die Wärmecapacität des Eisens ungefähr drei Mal so gross ist, als die des Bleies.

46. Aus diesen Betrachtungen ergiebt sich, dass, sobald wir die Geschwindigkeit und Schwere eines Wurfgeschosses kennen, wir mit Leichtigkeit die Wärmemenge berechnen können, welche sich bei der Vernichtung von dessen bewegender Kraft entwickelt. Da wir z. B. das Gewicht der Erde und die Geschwindigkeit, mit welcher sie sich im Raume bewegt, kennen, so werden wir durch eine einfache Berechnung in den Stand gesetzt, genau

die Wärmemenge anzugeben, welche sich entwickeln würde, falls die Erde in ihrer Bahn gehemmt würde. Wir könnten z. B. die Zahl der Grade angeben, um welche die Temperatur einer Wasserkugel, die der Erde an Grösse gleich wäre, durch die genannte Wärmemenge gesteigert werden würde.

Mayer und Helmholtz machten diese Berechnung und fanden, dass die durch diesen colossalen Anstoss erzeugte Wärmemenge nicht nur genügen würde, um die Erde zu schmelzen, sondern auch, um sie zum grossen Theil in Dampf zu verwandeln. So könnten also, durch eine einfache Hemmung der Erde in ihrem Umlauf, „die Elemente" dazu gelangen, „in Glühhitze zu schmelzen". Die auf diese Weise entwickelte Wärmemenge wäre gleich derjenigen, welche durch die Verbrennung von vierzehn Kohlenkugeln von der Grösse der Erde erlangt werden würde. Und wenn durch diese Hemmung in ihrer Bewegung die Erde in die Sonne fallen sollte, was unzweifelhaft geschehen würde, so würde durch einen solchen Stoss eben soviel Wärme erzeugt werden, wie durch die Verbrennung von 5600 Erdkugeln aus festem Kohlenstoff.

47. Die wissenschaftlichen Thatsachen, welche ich Ihnen soeben mittheilte, haben mehrere Naturforscher, welche über die Natur der Sonne speculirten *), zu der Annahme geführt, dass das Licht und die Wärme der Sonne durch das fortdauernde Herabstürzen von meteorischen Massen auf die Sonnenoberfläche erhalten würden. Man glaubte, dass das Zodiakallicht eine Wolke

*) Mayer trat im Jahre 1848 mit dieser Ansicht hervor und arbeitete sie aus. Später wurde sie davon unabhängig von Herrn Waterston aufgestellt und von Professor William Thomson weiter ausgeführt (Transactions of the Royal Soc. of Edinb., 1853). Siehe dreizehntes Kapitel.

von Meteorsteinen sei, und nahm an, aus ihm könnte dieser Regen von meteorischer Masse hergeleitet werden. Die Richtigkeit dieser Annahme mag nun dahingestellt bleiben; jedenfalls aber ist es bemerkenswerth, dass das oben erwähnte Herabstürzen der Meteore im Stande wäre, Licht und Wärme der Sonne zu unterhalten. Es ist nicht nöthig, dass ich meine Ansicht über die muthmassliche Wahrheit oder Irrigkeit dieser Theorie ausspreche; ich will nur so viel sagen, dass die Ursache, von welcher diese Theorie ausgeht, bei genügender Wirksamkeit vollkommen ausreichen würde, den ihr zugeschriebenen Erfolg hervorzubringen.

48. Lassen Sie uns jetzt von der Sonne zu etwas Geringerem — in der That, zu dem entgegengesetzten Pole der Natur — übergehen. Hierin kommt jene göttliche Kraft des menschlichen Verstandes, welcher blosse Grösse durch das Gesetz zu überwinden weiss, recht zur Anwendung.

Unsere Theorie bezieht sich nicht nur auf Sonnen und Planeten, sondern auch auf Atome. Die meisten unter den Anwesenden kennen die wissenschaftliche Geschichte des Diamanten, den Newton als eine verbrennbare, fettige Substanz erklärte und damit die Entdeckung der modernen Chemie anticipirte. Heutzutage weiss Jedermann, dass der glänzende Edelstein aus denselben Bestandtheilen wie gewöhnliche Kohle oder Graphit zusammengesetzt ist. Der Diamant ist reine Kohle, und Kohle verbrennt im Sauerstoff. Hier ist ein Diamant, der in einer Schlinge von Platinadraht befestigt ist; ich werde den Edelstein zum Rothglühen erhitzen und ihn sodann in diese Flasche tauchen, welche mit Sauerstoff angefüllt ist. Sehen Sie wie der Diamant aufleuchtet, nachdem er

in die Flasche gebracht wurde, jetzt glüht er wie ein Stern in reinem weissen Lichte. Wie sollen wir uns diesen Vorgang denken? Ebenso wie Sie sich eine Vorstellung von dem Herabhageln der Meteorsteine auf die Sonne gemacht haben. Beide Vorstellungen sind ihrer Natur nach dieselben, und für den Verstand ist die eine nicht schwieriger als die andere.

Sie müssen sich vorstellen, dass die Atome des Sauerstoffes von allen Seiten gegen diesen Diamant anprallen. Dieselben werden durch die sogenannte chemische Verwandtschaftskraft dahin gezogen; aber diese Kraft ist im Grunde nichts anderes als die reine Anziehungskraft und ist, wenn ich mich dieses Ausdruckes bedienen kann, von derselben mechanischen Beschaffenheit, als die Schwerkraft. Jedes Sauerstoffatom, indem es die Oberfläche des Diamanten trifft und seine fortschreitende Bewegung durch den Zusammenstoss mit der Kohlenmasse zerstört wird, nimmt diejenige Bewegung an, welche wir Wärme nennen; und diese Wärme ist so heftig, die Anziehungskraft innerhalb dieser Molekularentfernungen ist so mächtig, dass der Krystall weissglühend wird, und dass die Verbindung, welche aus der Vereinigung von den Krystall- und Sauerstoffatomen entstanden, als kohlensaures Gas verfliegt.

49. Lassen Sie uns nun von dem Diamanten zur gewöhnlichen Flamme übergehen. Ich habe hier einen Brenner, woraus sich eine schmale hohe Gasflamme entwickeln lässt. Welches ist nun die innere Beschaffenheit dieser Gasflamme. Im Inneren derselben haben wir einen Kern noch nicht verbrannten Gases, und ausserhalb der Flamme haben wir den Sauerstoff der Luft. Die äussere Oberfläche dieses Gaskernes kommt in Berührung mit der Luft, und hier stossen die Atome gegen einander

und erzeugen Licht und Wärme durch ihr gegenseitiges Anprallen. Aber die Zusammensetzung der Flamme verdient unsere besondere Aufmerksamkeit. Unsere Kenntnisse in dieser Beziehung verdanken wir einer der schönsten Untersuchungen von Davy. Unser Leuchtgas ist ein sogenannter Kohlenwasserstoff; es besteht aus Kohlenstoff und Wasserstoff im Zustande chemischer Verbindung. Wenn die Verbrennung nicht vollkommen ist, so bemerken wir, wie Russ und Lampenschwärze sich aus diesem durchsichtigen Gase ausscheiden. Beide sind auch jetzt darin enthalten, sie sind jedoch mit anderen Substanzen zu einem durchsichtigen Gase vereinigt. Wir haben also hier die Oberfläche dieses zusammengesetzten Gases in Berührung mit dem Sauerstoffe der Luft; wir bringen Wärme hinzu, und die Anziehungskraft wird plötzlich in dem Grade verstärkt, dass das Gas in Flammen auflodert. Der Sauerstoff hat die Wahl zwischen zwei Genossen, oder, wenn Sie wollen, befindet er sich in Gegenwart von zwei Feinden. Er schliesst sich demjenigen an, den er am liebsten hat, oder je nach den Umständen demjenigen, welchen er am meisten hasst. Zuerst schliesst er sich dem Wasserstoff an und giebt den Kohlenstoff frei. Unzählige Theilchen festen Kohlenstoffes sind nun inmitten des brennenden Wasserstoffes zerstreut und werden in einen Zustand intensivster Gluth versetzt; sie werden weissglühend; und ihnen ausschliesslich verdanken wir das Licht unserer Lampen. Nach einiger Zeit verbindet sich jedoch der Kohlenstoff mit dem Sauerstoff und wird nun zu Kohlensäure — oder sollte es wenigstens thun. — Allein ehe der Kohlenstoff vom Wasserstoff, mit welchem er zuerst verbunden war, zum Sauerstoff, dem er sich zuletzt anschliesst, übergeht, be-

findet er sich eine Zeitlang in festem Zustande und gewährt uns so den Glanz seines Lichtes.

50. Die Verbrennung einer Kerze ist dem Principe nach dasselbe, als die Verbrennung eines Gasstromes. Sie haben hier ein Stück Wachs oder Talg (Fig. 17), durch dessen Mitte ein baumwollener Docht läuft. Sie entzünden diesen Docht; er brennt und schmilzt das Fett unterhalb der Flamme; die Flüssigkeit steigt vermittelst der Capillaranziehungskraft durch den Docht in die Höhe; wird durch die Hitze in Dampf verwandelt, und dieser Dampf ist ein Kohlenwasserstoff, der eben so brennt, wie das Gas. Auch hier haben Sie unverbrannten Dampf im Inneren und gewöhnliche Luft von Aussen, während sich zwischen beiden eine Schicht befindet, welche das Schlachtfeld für die zusammenprallenden Atome bildet, und wo diese Licht und Wärme entwickeln. Im ganzen Bereiche der Natur giebt es kaum etwas Schöneres, als eine brennende Kerze: die hohle, theilweise mit geschmolzenen Stoffen angefüllte Vertiefung unten am Dochte; das Aufwärtskriechen der Flüssigkeit; die Verdampfung derselben; — die Structur der Flamme; ihre sich schlank zuspitzende Form, und dabei die Luftströme, welche hier zusammenlaufen, um

Fig. 17.



den Bedürfnissen der Flamme zu genügen! Die Flamme ist ihrer Schönheit, Helle und Beweglichkeit halber zum Lieblingssinnbild geistigen Wesens geworden. Unser Vergnügen beim Anblicke einer solchen hat sich auch seit ihrer Zerlegung durch Davy keineswegs vermindert, sie ist im Gegentheil mehr als je ein Wunder von Schönheit für den denkenden Geist.

51. Sie sollten jetzt im Stande sein, sich ein klares Bild von der Structur einer Kerzenflamme zu entwerfen. Sie sollten den unverbrannten inneren Kern und die brennende Schicht, welche diesen Kern umgiebt, vor sich sehen. Aus diesem Kern und durch diese brennende Hülle hindurch entweichen fortwährend die Bestandtheile der Kerze und gehen in die Luft über. In der Kerzenflamme haben Sie hier einen hohlen Kegel von brennender Substanz. Denken Sie sich, dass derselbe in horizontaler Richtung quer durchschnitten würde. Sie hätten alsdann einen brennenden Ring vor sich. Auf folgende Weise können wir eine Flamme in der That quer durchschneiden. Ich bringe dieses Stück weissen Papieres auf das Licht herab, bis ich damit beinahe den Docht berühre. Beobachten Sie die obere Seite des Papieres: es verkohlt; aber auf welche Weise? Dem brennenden Ring des Lichtes genau entsprechend haben wir hier einen

Fig. 18.



verkohlten Ring auf dem Papiere (Fig. 18). Ich thue dasselbe mit einer Gasflamme, und hier ist der Ring, den

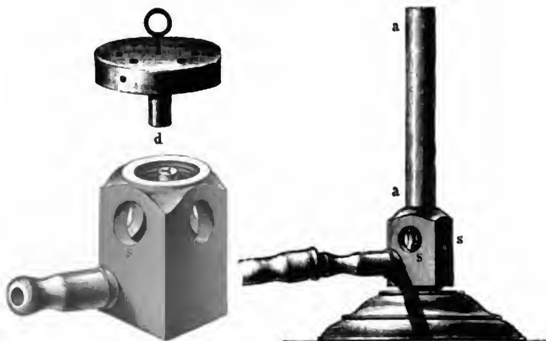
diese hervorbringt. Sie sehen, dass das Papier innerhalb des Ringes unberührt blieb; denn auf dieser Stelle wirkt der unverbrannte Dampf der Kerze oder des Gasstromes auf das Papier ein und es kann keine Verkohlung stattfinden.

52. Wir verdanken demnach das Licht unserer Lampen einzig und allein der Anwesenheit von festen Kohlenstofftheilchen. Allein die Existenz dieser Theilchen in unverbundenem Zustande ist nur in Abwesenheit des Sauerstoffes, der sie in Beschlag zu nehmen strebt, möglich. Wäre im Augenblick ihrer Befreiung vom Wasserstoff, womit sie verbunden waren, Sauerstoff genug da, um sie zu binden, so würde es mit ihrem unverbundenen Zustande zu Ende sein, und wir wären ihres Lichtes beraubt. Demnach können wir, wenn wir dem Gase, welches aus der Röhre entströmt, eine genügende Menge von Luft beimischen, damit der Sauerstoff bis in das Innere der Flamme dringe, das Licht der Letzteren verschwinden machen.

53. Professor Bunsen hat einen eigenen Brenner zu dem Zwecke erfunden, um die festen Kohlenstofftheilchen durch schnelle Verbrennung zu vernichten. Der Brenner, aus welchem das Gas entweicht, wird in eine Röhre gesetzt; diese Röhre ist auf gleicher Höhe mit dem Brenner durchlöchert, die Luft dringt durch diese Oeffnungen ein, vermischt sich mit dem Gas, und die Mischung strömt am oberen Ende der Röhre aus. Fig 19, a. f. S., stellt einen solchen Brenner dar; das Gas mündet in den durchlöcherten Raum *ss* ein, vermischt sich hier mit der Luft, und beide steigen nun durch die Röhre *aa* zusammen in die Höhe; *d* ist ein rosettenförmiger Brenner, den man benutzt, um der Flamme eine andere Gestalt

zu geben. Ich entzünde die Mischung, die Flamme verbreitet jedoch beinahe kein Licht. Hitze ist der hier erstrebte Zweck, und diese lichtlose Flamme ist viel heisser als eine gewöhnliche Flamme, weil die Verbrennung viel rascher und deshalb intensiver ist*). Wenn ich die Oeffnungen bei *a* schliesse, so schneide ich damit die Luftzufuhr ab, und die Flamme wird sofort wieder leuchtend:

Fig. 19.



wir haben nun den gewöhnlichen Fall von einem Kern von unverbranntem Gas, umgeben von einer brennenden Schicht.

Die Lichtstärke eines Gases kann an der nöthigen Luftmenge bemessen werden, welche man bedarf, um den Niederschlag der festen Kohlenstofftheilchen zu verhindern; je reichhaltiger das Gas ist, desto mehr

*) Die Flamme ist für einen Körper, der nur ihrer Strahlung ausgesetzt wird, nicht heisser, ja nicht einmal so heiss, als eine gewöhnliche Flamme, aber sie ist sehr viel heisser als eine solche für einen Körper, der in die Flamme eingetaucht wird.

Luft wird man bedürfen, um diese Wirkung zu erzielen.

54. An jedem windigen Samstagabend kann man in den Strassen von London eine interessante Beobachtung machen, wenn man dem plötzlichen und fast gänzlichen Erlöschen der grossen Gasflammen, wie sie an den Fleischerläden gebräuchlich sind, Aufmerksamkeit schenkt. Wenn der Wind weht, so wird der Sauerstoff auf mechanische Weise fast bis in das Innerste der Flamme getrieben und augenblicklich verwandelt sich das weisse Licht in eine geisterhaft bläuliche Flamme. Bei festlichen Beleuchtungen kann man dieselbe Wirkung beobachten, und hier, wie bei dem Bunsen'schen Brenner, ist die Abwesenheit des Lichtes der Gegenwart einer hinreichenden Menge von Sauerstoff zuzuschreiben, welcher augenblicklich den Kohlenstoff der Flamme verzehrt.

55. Als ich 1859 meine Reise in die Alpen unternahm, hatte ich mir unter Anderem die Aufgabe gestellt, den Einfluss der Höhe auf die Schnelligkeit der Verbrennung zu bestimmen. Zum Glücke für die Wissenschaft lud ich Herrn Dr. Frankland ein, mich bei dieser Gelegenheit zu begleiten und die Versuche über Verbrennung zu übernehmen, während ich mir vornahm, meine Zeit auf Beobachtungen der Sonnenstrahlung zu verwenden. Wir befolgten folgenden Plan: sechs Kerzen, die wir in Chamouni kauften, wurden sorgfältig gewogen; hierauf liessen wir sie eine Stunde lang im Hôtel de l'Union brennen und bestimmten alsdann den erlittenen Gewichtsverlust. Wir nahmen dieselben Kerzen mit auf den Montblanc, und am Morgen des 21. Aug. 1859 liessen wir sie eine Stunde lang in einem Zelte brennen, worin sie vollkommen vor dem Luftzuge geschützt waren. Wir

waren Beide sehr erstaunt über das Aussehen der sechs Flammen hier auf der Höhe. Es war, als sähe man nur noch die Gespenster der Flammen, welche dieselben Kerzen im Thale von Chamouni hervorgebracht hatten. Bleich und schwach, schienen sie eine sehr verminderte Energie der Verbrennung anzudeuten. Als wir bei unserer Rückkehr die Kerzen sorgfältig wogen, ergab sich die unerwartete Thatsache, dass die Flammen auf der Höhe genau dieselbe Stearinmenge verzehrt hatten, als unten. Demnach war die Verbrennung ebenso energisch oben wie unten, trotzdem die Leuchtkraft der Flamme durch die Höhe in auffälliger Weise vermindert worden war. Diese merkwürdige Erscheinung kann nur der grösseren Beweglichkeit der Luft auf der grossen Höhe zugeschrieben werden. Die Sauerstofftheilchen konnten mit verhältnissmässiger Leichtigkeit in die Flamme eindringen und deren Licht vernichten; indem die Schnelligkeit ihrer Wirkung für ihre verminderte Zahl Ersatz leistete. Ich habe gefunden, dass man die Beweglichkeit der Luftatome fast verdoppeln kann, indem man die Dichtigkeit der gewöhnlichen atmosphärischen Luft um die Hälfte vermindert.

56. Dr. Frankland hat diese Versuche zum Ausgangspunkt einer sehr interessanten Untersuchung gemacht. Er zeigt darin, dass die Stearinquantität, welche in einer gegebenen Zeit von einer Flamme verzehrt wird, ganz unabhängig ist von der Dichtigkeit der Luft, sogar wenn diese sehr beträchtliche Veränderungen erleidet; und die Ursache davon ist, dass obwohl wir durch ein Zusammenpressen der Luft die Zahl der activen Theilchen, welche mit der Flamme in Berührung kommen, vermehren, wir doch in beinahe gleichem Maasse ihre Beweglichkeit vermindern

und die Verbrennung verzögern. Wenn ein Uebermaass von Luft die Flamme umgiebt, so wird deren erkältender Einfluss überdies dahin wirken, die festen Kohlenstofftheilchen länger unverbrannt zu erhalten, oder gar ihre schliessliche Verbrennung ganz zu verhindern. Eines der schönen experimentellen Resultate von Dr. Frankland's Untersuchung besteht darin, dass man durch Verdichtung der Luft die blasse und rauchlose Spiritusflamme zur Helligkeit einer Gasflamme steigern, und wenn man die Verdichtung weit genug treibt, die Flamme sogar rauchig machen kann; indem der vorhandene träge Sauerstoff nicht im Stande ist, die völlige Verbrennung des Kohlenstoffes zu vollziehen.

57. Aber kehren wir zu unserer Verbrennungstheorie zurück: wir schreiben dem Aufeinanderstürzen des Sauerstoffes der Luft und der Bestandtheile des Leuchtgases oder der Kerzen das Licht und die Wärme unserer Flammen zu. Ich streue Eisenfeilspäne in diese Flamme, und Sie sehen das sternähnliche Flimmern, welches durch die Verbrennung des Stahles hervorgebracht wird. Hier wird der Stahl zuerst so lange erwärmt, bis die Anziehungskraft zwischen ihm und dem Sauerstoffe der Luft stark genug wird, um beide zur Verbindung zu bringen, und dieses raketenartige Aufflackern ist das Resultat ihres Zusammenstosses. Der Anprall von Sauerstoffatomen gegen Schwefelatome erzeugt die Hitze und die Flamme, welche wir bei der Verbrennung von Schwefel in Sauerstoff oder Luft beobachten; die intensive Hitze und das blendende Licht, welche bei Verbrennung von Phosphor in Sauerstoffgas entstehen, sind dem Zusammenstoss derselben Atome mit denen des Phosphors zuzuschreiben. Der Zusammenstoss von Chlor und Antimon erzeugt das Licht und die

Wärme, welche bei der Mischung dieser beiden Stoffe entstehen; und das Aufeinanderstürzen von Kupfer und Schwefelatomen verursacht das Leuchten der Masse, wenn diese Stoffe zusammen in einem Glaskolben erwärmt werden. Kurz jede Verbrennung muss dem Zusammenstoss von Atomen, welche durch ihre gegenseitige Anziehungskraft zu einander gezogen wurden, zugeschrieben werden!

Anhang zum zweiten Kapitel.

Auszüge aus dem zwanzigsten Aphorismus des zweiten Buches des Novum Organum.

Man verstehe wohl, wir sagen: Die Bewegung verhalte sich zur Wärme als eine verwandte Beschaffenheit; nicht dass die Wärme wirklich eine Frucht der Bewegung sei, noch dass sie die Bewegung hervorbringe (wenngleich es zuweilen eintrifft), sondern dass die Wärme selbst nichts Anderes als Bewegung sei. Um Missverständnissen vorzubeugen, wollen wir diese Aussagen hier soviel als möglich beschränken.

Die mitgetheilte Wärme, die leitende Eigenschaft, vermöge welcher sie von einem Körper zum anderen geht, muss nicht mit dem Wesentlichen der Wärme verwechselt werden; Wärme ist etwas anderes als Erwärmung. Da nun durch Reibung die Wärme selbständig hervorgebracht werden kann, so folgt, dass sie nicht nothwendig durch Leitung verbreitet werden muss.

* * *

Es ist zuerst nöthig, zu wissen, dass die Wärme ein ausdehnender Bewegungsact ist, wodurch der Körper bestimmt wird, seine Masse auszudehnen. Diese Eigenthümlichkeit ist besonders in der Flamme fühlbar, in welche der fette Dampf oder Dunst sich verwandelt. Dasselbe zeigt sich bei kochenden Flüssigkeiten, die augenscheinlich aufwallen und sich in Blasen ausdehnen; diese Ausdehnung geht soweit, dass der flüssige Körper in einen ganz anderen, weit ausgedehnteren verwandelt wird, in Rauch, Dunst, Luft . . . .

Die dritte Eigenthümlichkeit der Wärme ist, dass sie sich nicht gleichförmig durch den ganzen Körper verbreitet, sondern durch die kleineren Theile und zugleich stossweise; daher sie jene wechselnde, zitternde, strebende, aufblitzende, vom Widerstand neu erregte Bewegung verursacht. Darin ist der Grund jener Wuth des Feuers zu suchen.

*
* *

Dies zeigt sich auch dadurch, dass man keine Wärme empfindet, wenn die Luft ungehindert und gleichförmig sich ausdehnt, wie im Gradglase. Auch bei eingeschlossener Luft, wenn sie gleich plötzlich losbricht, findet keine sonderliche Wärmeentwicklung Statt, weil nämlich die Bewegung, da in der Gesammtmasse nicht wechselnd, in den Theilchen vor sich geht.

*
* *

Diese Eigenschaft hat die Wärme mit der Kälte gemein; bei der einen wird nämlich die zusammenziehende Bewegung durch den Trieb der Ausdehnung, bei der anderen die ausdehnende Bewegung durch den Trieb der Zusammenziehung aufgehoben.

*
* *

Hiermit schliessen wir die erste Lese (vindemiatio) oder verstandesgemässe Untersuchung über die Natur des Feuers. Die wahre hiernach gefundene Definition der Wärme (nicht bloss der sinnlich fühlbaren, sondern der allgemeinen) wäre nun diese: Die Wärme ist eine expansive, gehemmte, die kleineren Theile durchdringende Bewegung. Diese Ausdehnung wird so modificirt, dass sie, wenngleich nach allen Seiten hinstrebend, doch etwas mehr nach oben gerichtet ist. Dieser Andrang wird von den widerstrebenden Theilen so modificirt, dass er nicht geradezu gehemmt, sondern vielmehr zu heftigerem Andrange gereizt wird *).

---

*) Franz Bacon's Werke. Aus der Uebersetzung von Anton Theobald Brück. Leipzig, Brockhaus. 1830.

Auszug aus Graf Rumford's Untersuchung über den Ursprung der Wärme, welche durch Reibung hervorgebracht wird*).

Graf Rumford, der in dem Militärzeughause von München mit der Ueberwachung des Kanonenbohrens beschäftigt war, erstaunte über die bedeutende Wärmemenge, welche ein metallenes Geschütz in kurzer Zeit während des Bohrens erreicht, und über die noch weit grössere Hitze (grösser als die des siedenden Wassers) der durch den Bohrer davon abgetrennten Metallspäne. Er wurde dadurch veranlasst, sich folgende Fragen zu stellen:

„Woher kommt die durch den oben genannten mechanischen Process thatsächlich hervorgebrachte Wärme?"

„Geht dieselbe von den Metallspänen aus, welche von dem Metalle getrennt werden?"

Wäre dieses der Fall, so müsste die Wärmecapacität der Metalltheilchen nicht nur verändert sein, sondern die von ihnen erlittene Veränderung müsste gross genug sein, um die ganze erzeugte Wärme zu erklären. Es hat jedoch keine solche Veränderung stattgefunden, denn er fand, dass die Späne genau dieselbe Capacität hatten, als Splitter desselben Metalles, welche mit einer feinen Säge ohne jede Erwärmung abgeschnitten worden waren. Daraus geht hervor, dass die erzeugte Wärme unmöglich auf Kosten der latenten Wärme in den Metallspänen geliefert werden konnte. Rumford beschreibt diese Versuche ausführlich, und sie sind entscheidend.

Er bestimmte hierauf einen Cylinder eigens zu dem Zwecke, Wärme durch Reibung zu erzeugen, indem er einen stumpfen Bohrer gegen den massiven Boden des Cylinders pressen liess, während der Cylinder durch Pferdekraft um seine Axe gedreht wurde. Um die sich entwickelnde Wärme messen zu können, wurde ein kleines Loch in den

*) An Enquiry concerning the source of the heat which is excited by friction (gelesen vor der Royal Society, January 25, 1798).

Cylinder gebohrt und ein kleines Quecksilberthermometer eingeführt. Das Gewicht des Cylinders betrug 113,13 Pfund avoir-du-poids. Der Bohrer bestand aus einem flachen Stück gehärteten Stahles, welches 0,63 Zoll dick, 4 Zoll lang und fast so breit als das Bohrloch des Cylinders, nämlich $3^1/_2$ Zoll breit, war. Die Grösse derjenigen Fläche, welche mit dem Boden des Bohrloches in Berührung kam, betrug beinahe $2^1/_2$·Quadratzoll. Beim Beginn des Versuches betrug die Temperatur sowohl der Luft im Schatten als des Cylinders 16°,7 C. Nach 30 Minuten, als der Cylinder 960 Umdrehungen um seine Axe gemacht hatte, betrug die Temperatur 54°,4.

Nachdem er den Bohrer herausgenommen hatte, entfernte er den Metallstaub oder besser die abgeschälte Masse, welche sich vom Boden des Cylinders durch den stumpfen Stahlbohrer gelöst hatte, und fand, dass dieselbe 837 Gran Apothekergewicht betrug. „Ist es möglich," ruft er aus, „dass die sehr bedeutende, bei diesem Versuche erzeugte Wärmemenge — eine Wärmemenge, welche factisch die Temperatur von 113 Pfund Kanonenmetall um wenigstens 37° C. steigerte — durch eine so unbedeutende Quantität von Metallstaub geliefert werden konnte, und zwar nur in Folge einer Aenderung in dessen Wärmecapacität?"

Allein, ohne auf der Unwahrscheinlichkeit dieser Voraussetzung zu bestehen, müssen wir uns daran erinnern, dass, gemäss dem Ergebniss thatsächlich ausgeführter und entscheidender Versuche, welche eigens zu dem Zwecke angestellt wurden, die Wärmecapacität des Metalles, woraus man grosse Kanonen giesst, nicht merklich verändert wird, wenn man es in die Form von Metallspänen bringt. Auch scheint gar kein Grund für die Annahme vorhanden zu sein, dass die Capacität viel verändert werden kann, wenn sie überhaupt verändert wird, dadurch, dass man das Metall durch einen weniger scharfen Bohrer in sehr viel kleinere Splitter zertheilt.

Hierauf umgab er seinen Cylinder mit einem länglichen hölzernen Kasten, der so eingerichtet war, dass der Cylinder sich wasserdicht in dessen Mitte drehen konnte, während der

Bohrer fest auf den Boden des Cylinders drückte. Der Kasten wurde so hoch mit Wasser gefüllt, dass der ganze Cylinder bedeckt war, und dann wurde der Apparat in Bewegung gesetzt. Die Temperatur des Wassers betrug 16,7 Grad bei dem Beginn des Versuches.

„Der Erfolg dieses schönen Versuches," schreibt Rumford, „war sehr schlagend, und die Freude, welche ich darüber empfand, belohnte mich reichlich für alle Mühe, welche ich auf die Erfindung und Zusammenstellung der dabei gebrauchten verwickelten Maschinerie verwendet hatte. Der Cylinder war noch nicht lange in Bewegung gesetzt worden, als ich bemerkte, indem ich meine Hand in das Wasser tauchte und den Cylinder von Aussen berührte, dass Wärme sich entwickelte.

„Nach Verlauf von einer Stunde war die Temperatur der Flüssigkeit, welche 18,77 Pfund wog oder $2^1/_2$ Gallonen maass, um 25 Grad erhöht und betrug nun 41,7 Grad.

„Nach weiteren 30 Minuten oder einer Stunde und 30 Minuten nach Beginn des Versuches betrug die Temperatur des Wassers 61 Grad.

„Nach Verlauf von zwei Stunden nach dem Beginn gerechnet war die Temperatur 81 Grad.

„Nach zwei Stunden und zwanzig Minuten betrug sie 93,3 Grad, und nach zwei und einer halben Stunde kam das Wasser wirklich zum Kochen!"

In Beziehung auf diesen Versuch machte Rumford die Bemerkungen über die Verwunderung der Umstehenden, welche ich im ersten Kapitel angeführt habe.

Er schätzt hierauf sorgfältig die Wärmemenge, welche am Schlusse des Versuches in jedem einzelnen Theile des Apparates enthalten war, und, alles zusammenaddirend, fand er die Totalsumme genügend, um 26,58 Pfund eiskalten Wassers bis auf den Siedepunkt oder um 100° C. zu erhöhen. Eine sorgfältige Rechnung ergab, dass diese Wärmemenge der durch die Verbrennung von 2303,8 Gran (gleich $4^8/_{10}$ Unzen Apothekergewicht) Wachs hervorgebrachten Wärmemenge gleichkomme.

Er bestimmt hierauf die Geschwindigkeit, womit diese Wärme erzeugt worden war und schliesst wie folgt:

„Nach den Resultaten dieser Berechnung zu schliessen scheint es, dass die gleichförmige oder, wenn ich diesen Ausdruck gebrauchen darf, in einem continuirlichen Strom durch die Reibung des stumpfen Bohrers gegen den Boden des hohlen Metallcylinders hervorgebrachte Wärmemenge grösser ist, als die durch die Verbrennung von neun Wachskerzen erzeugte, deren jede $^3/_4$ Zoll im Durchmesser hat, und welche alle zusammen in hellen grossen Flammen brennen.

„Ein Pferd wäre im Stande gewesen, diese Arbeit zu leisten, obwohl in Wirklichkeit zwei Pferde dazu verwendet wurden. Man kann also einfach durch die Kraft eines Pferdes Wärme entwickeln, und im Nothfall könnte man diese Wärme zum Kochen von Lebensmitteln verwenden. Allein es lassen sich kaum Bedingungen denken, in welchen diese Art der Wärmebildung vortheilhaft sein würde, denn man wird immer mehr Wärme erhalten, wenn man das zum Unterhalte des Pferdes nöthige Futter als Brennmaterial benutzt."

(Es ist dies eine sehr bedeutende Stelle, indem sie zu erkennen giebt, dass Rumford klar einsah, dass die Kraft der Thiere von dem Futter stammt und keine Neuschaffung von Kraft innerhalb des thierischen Körpers stattfinde.)

„Bei dem Nachdenken über die Resultate aller dieser Versuche werden wir naturgemäss auf die grosse Frage, welche so oft den Gegenstand der Speculationen unter den Naturforschern bildete, hingelenkt, nämlich: Was ist Wärme? Giebt es etwas wie ein feuriges Fluidum? Existirt überhaupt etwas, das man richtig als Wärmestoff bezeichnen könnte?"

„Wir haben gesehen, dass eine ganz bedeutende Wärmemenge durch die Reibung zweier metallischer Flächen hervorgebracht und nach allen Richtungen in fortdauerndem Strom, ohne Unterbrechung oder Pause und ohne jegliches Zeichen von Abnahme oder Erschöpfung abgegeben werden kann. Bei unseren Schlussfolgerungen über diesen Gegenstand dürfen wir den sehr bedeutenden Umstand nicht vergessen, dass die Quelle der bei diesen Versuchen

durch Reibung erzeugten Wärme offenbar unerschöpflich ist (die gesperrt gedruckten Stellen sind von Rumford angegeben). Es ist kaum nöthig hinzuzufügen, dass etwas, das von einem isolirten Körper oder Körpersystem endlos hervorgebracht werden kann, unmöglich eine materielle Substanz sein kann, und ich finde es schwer, wenn nicht ganz unmöglich, mir eine bestimmte Vorstellung von dem zu machen, was in diesen Versuchen erzeugt und mitgetheilt wird, wenn ich es nicht für eine Bewegung halten soll."

Wenn die Geschichte der dynamischen Theorie der Wärme geschrieben werden soll, so darf ein Mann, welcher im Widerspruch mit den wissenschaftlichen Meinungen seiner Zeit Versuche anstellen und Schlüsse daraus ziehen konnte, wie Rumford in der hier erwähnten Untersuchung gethan hat, gewiss nicht leichthin übergangen werden. Es ist seitdem kaum etwas Bedeutenderes gegen die Materialität der Wärme vorgebracht worden, und kaum etwas Entscheidenderes geschehen, um die Wärme als dasjenige festzustellen, wofür Rumford sie hielt, nämlich als Bewegung.

Ueber das Zusammenpressen von Luft, welche Schwefelkohlenstoffdampf enthält.

Ein eigenthümliches Phänomen wurde mehrmals während der Versuche mit Schwefelkohlenstoff bemerkt. Nachdem die Absorption der Dämpfe genau bestimmt worden war, wurde die Röhre so vollständig als möglich ausgepumpt, so dass die darin zurückbleibenden Spuren des Dampfes ausnehmend gering waren. Trockene Luft wurde nun zugelassen, um die Röhre zu reinigen. Bei abermaligem Auspumpen wurde nach einigen wenigen Pumpenzügen ein schwacher Stoss und eine Art von Explosion gehört, während dichte Massen blauen Rauches unmittelbar darauf aus den Pumpenstiefeln aufstiegen. Der Vorgang blieb auf letztere beschränkt und theilte sich niemals der Experimentirröhre mit. Dies wurde nur

mit Schwefelkohlenstoff beobachtet. Es kann, wie mich dünkt, in folgender Weise erklärt werden: um das Ventil an dem Stempel zu öffnen, muss das darunter befindliche Gas eine gewisse Spannung besitzen, und der zu dieser Spannung nöthige Druck scheint genügend zu sein, um die Verbindung zwischen den Bestandtheilen des Schwefelkohlenstoffs mit dem Sauerstoff der Luft hervorzurufen. Eine solche Verbindung findet gewiss Statt, indem der Geruch nach schwefliger Säure ganz unverkennbar in den Dünsten ist. Zur Prüfung dieser Idee versuchte ich die Wirkung des Zusammenpressens in einem Compressionsfeuerzeug. Ein in die Röhre gelegtes, mit Schwefelkohlenstoff befeuchtetes Stückchen Werg oder Baumwolle ergab einen hellen Lichtstreifen, sobald die Luft zusammengepresst wurde. Wenn man die Dünste mittelst einer Glasröhre hinausbläst, kann man diesen Versuch zwanzig Mal hintereinander mit demselben Stück Baumwolle ausführen.

Es ist sogar nicht einmal nöthig, die befeuchtete Baumwolle in der Röhre liegen zu lassen. Wenn man das Werg oder die Baumwolle hinein- und so schnell als möglich wieder hinausbringt, so sieht man das Aufleuchten bei dem Zusammenpressen der Luft. Reiner Sauerstoff erzeugt einen helleren Schein als atmosphärische Luft. Diese Thatsachen sind in Uebereinstimmung mit obiger Erklärung *).

*) Phil. Trans. 1861. Phil. Mag., Sept. 1861.

Drittes Kapitel.

Ausdehnung: der feste, flüssige und luftförmige Zustand der Materie. — Hypothesen über die innere Beschaffenheit der Gase. — Ausdehnungscoëfficient. — Wärme, einem Gase bei gleichbleibendem Drucke zugeleitet. — Wärme, einem Gase bei gleichbleibendem Volumen mitgetheilt. — Mayer's Berechnung des mechanischen Aequivalents der Wärme. — Ausdehnung der Gase ohne Abkühlung. — Absoluter Nullpunkt der Temperatur. — Ausdehnung fester und flüssiger Körper. — Anomales Verhalten von Wasser und Wismuth. — Energie der Krystallisationskraft, — Wärmeeffect bei Streckung von Drähten. — Anomales Verhalten von Kautschuk.

Anhang: Hinzugefügte Thatsachen in Betreff der Expansion. — Auszüge aus Sir H. Davy's erster Abhandlung über Schmelzen des Eises durch Reibung u. s. w.

---

58. Bei unserer ersten Zusammenkunft an dieser Stelle liess ich einen Schmiedehammer auf einen Klumpen Blei fallen und fand das Blei von dem Schlage erhitzt. Früher nahm man an, dass die Kraft des Hammers einfach durch den Zusammenstoss verloren gehe. Bei elastischen Körpern setzte man voraus, dass ein Theil der Kraft durch die Elasticität des Körpers wiedererstattet werde und das Zurückprallen der niedergefallenen Masse verursache; aber bei dem Zusammenstoss unelastischer Körper sollte die Kraft des Stosses verloren sein. Nach unseren gegenwärtigen Begriffen ist dies ein gründlicher

Irrthum. Wir glauben jetzt an keinen Verlust, sondern nehmen an, dass, wenn die Bewegung des fallenden Hammers aufhört, in diesem Falle nur eine Uebertragung, nicht aber eine Vernichtung stattfinde. Die Bewegung der Masse als Ganzes ist zu einer Bewegung der Atome der Masse geworden. Die bewegten Theilchen sind aber zu klein und die Wege, die sie durchlaufen, zu winzig, als dass die Bewegung trotz ihrer Heftigkeit wahrgenommen werden könnte. Hier muss uns die Einbildungskraft helfen. Bei festen Körpern müssen Sie den Atomen, die von der Cohäsionskraft zusammengehalten werden, die Fähigkeit zuschreiben, innerhalb gewisser Grenzen vibriren zu können. Sie müssen sich die Atome hin und her schwingend denken, und je grösser die Wärmemenge, die wir dem Körper mittheilen, oder je grösser der Betrag mechanischer Kraft, die wir ihm durch Stoss, Druck oder Reibung zuführen, desto schneller wird auch die Schwingung der Atome und desto umfangreicher ihre Bewegung sein.

59. Nun ist es ganz natürlich, dass die schwingenden Atome, deren jedes weiteren Raum für seine Bewegung sucht, sich gegenseitig bei Seite drängen und dadurch bewirken, dass der Körper, dessen Bestandtheile sie sind, an Umfang zunimmt. Die gewöhnliche Folge von Wärmezuführung ist also Ausdehnung des Umfangs. Wir werden nach und nach die wenigen scheinbaren Ausnahmen dieser Regel näher betrachten. Durch die Cohäsionskraft werden also die Atome zusammengehalten; durch die Kraft der Wärme werden sie auseinander getrieben. Dies sind die beiden widerstreitenden Grundkräfte, von denen der Molekularbau eines Körpers abhängt. Denken wir uns die Zuführung der Wärme fortgesetzt. Jeder Zuwachs derselben entfernt die Atome mehr und mehr

von einander, während die Cohäsionskraft, wie alle anderen bekannten Kräfte, schwächer und schwächer wirkt, je mehr der Zwischenraum zwischen den Atomen, in welchen sie ihren Sitz hat, zunimmt. In dem Maasse als die Kraft der Wärme stärker wird, wird die ihr entgegenstehende Kraft schwächer, bis endlich die Atome so weit von dem starren Joche der Cohäsion befreit sind, dass sie nicht nur nach Belieben um einen festen Punkt hin und her schwingen, sondern sogar durcheinander rollen oder gleiten können. Die Cohäsion ist noch nicht zerstört, indem sich die Atome noch immer nicht geradezu von einander reissen lassen, doch ist sie soweit verändert, dass seitliche Bewegungen über die Flächen der Nachbaratome hin möglich werden. *Dies ist der flüssige Zustand der Materie.*

60. Im Innern einer flüssigen Masse ist die Bewegung eines jeden Atoms durch die ihn umgebenden Atome beschränkt. Aber vorausgesetzt, Sie erzeugen genügend starke Wärme in einem flüssigen Körper, was wird dann geschehen? Die Atome brechen die letzten Fesseln der Cohäsion und fliegen auseinander, um Dampfblasen zu bilden. Wenn die Oberfläche der Flüssigkeit frei liegt, d. h. weder von flüssigen noch festen Körpern eingeschlossen ist, so kann man sich leicht vorstellen, wie manche der schwingenden Atome an der Oberfläche von der Flüssigkeit so zu sagen weggeschleudert werden und mit einer gewissen Geschwindigkeit in die Höhe steigen. *Auf diese Weise von dem Einflusse der Cohäsion befreit, haben wir die Materie in dem Zustande des Dampfes oder Gases.*

61. Mein Zweck ist, Ihre Gedanken mit der allgemeinen Vorstellung der Atombewegung vertraut zu machen. Ich habe von der Schwingung der Atome eines festen

Körpers und der daraus entstehenden Ausdehnung desselben gesprochen, man hat sich auch wohl gedacht, dass die Atome einander umkreisen, und man glaubte, dass Zufuhr von Wärme ihre Centrifugalkraft vermehrte und sie dadurch weiter auseinandertriebe *). Ich habe hier ein Gewicht an eine Spiralfeder befestigt. Wenn ich das Gewicht in der Luft herumschwinge, strebt es, sich von mir zu entfernen, die Spiralfeder streckt sich zu einer gewissen Länge, und in dem Maasse, als ich die Schnelligkeit der Schwingungen steigere, streckt sich die Feder weiter und weiter, so dass die Entfernung zwischen meiner Hand und dem Gewichte dadurch vergrössert wird. Denke man sich die Bewegung fortgesetzt bis die Feder reisst; der daran befestigte Ball würde in der Tangente seiner früheren Bahn davonfliegen, und somit die Rolle eines durch Wärme von der Kraft der Cohäsion befreiten Atomes spielen, der Cohäsion, welche in etwas grober Weise durch unsere Spiralfeder dargestellt ist.

Unsere bedeutendsten Gelehrten sind noch ungewiss, welche entsprechende Vorstellung man sich über die Natur der Wärmebewegung zu machen habe; aber die Hauptsache ist jetzt nur, sie überhaupt als Bewegung irgend einer Art anzuerkennen; während die genauere Definition ihres Charakters späteren Forschungen überlassen sei.

62. Wir könnten diese Ansicht von einer Rotation der Atome auch auf die Gase ausdehnen, und ihre Erscheinungen von einer derartigen Bewegung herleiten. Aber

---

*) Dies war Sir Humphry Davy's Hypothese. (Siehe den Anhang dieses Kapitels.) Wir verdanken Mr. Rankine die vollständige mathematische Entwicklung einer „Theorie der Molekularwirbel“ (Phil. Magaz. 1851, Vol. II, p. 509).

ich habe soeben schon eine andere Ansicht über die Gaspartikelchen vorgebracht, welche in neuester Zeit in sehr geschickter Weise begründet worden ist *); die Ansicht nämlich, dass diese Theilchen in geraden Linien durch den Raum fliegen. Das mag man die Hypothese der Translationsbewegung nennen, im Gegensatz zu Davy's Hypothese der Rotationsbewegung. Ein Jeder muss bemerkt haben, wie schnell der Geruch eines duftenden Körpers ein Zimmer durchdringt, und diese Thatsache stimmt mit der Ansicht einer directen, geradlinigen Fortbewegung der Theilchen überein. Aber es kann bewiesen werden, dass, wenn diese Theorie richtig wäre, die Theilchen sich mit einer Geschwindigkeit von mehreren hundert Fuss in der Sekunde bewegen müssten. Demgemäss könnte man einwenden, dass sich nach obiger Voraussetzung Gerüche noch viel schneller verbreiten müssten, als es wirklich der Fall ist.

63. Die Antwort auf diesen Einwurf ist, dass sie sich ihren Weg durch ein Gedränge von Lufttheilchen zu bahnen haben, mit denen sie unaufhörlich in Collision kommen. Im Durchschnitt ist der Weg, den ein riechendes Theilchen in der Luft durchfliegen kann, ohne auf ein Lufttheilchen zu stossen, ausserordentlich klein, mithin wird die Verbreitung eines Geruches durch die Luft von dieser selbst ungeheuer aufgehalten. Es ist wohl bekannt, dass bei Herstellung einer Verbindung zwischen der Oberfläche einer Flüssigkeit und einem luftleeren Raume letzterer sich viel schneller mit dem Dampfe der Flüssigkeit füllt, als wenn er voll Luft wäre.

64. Es ist nicht schwer, die durchschnittliche Schnel-

*) Von Joule, Krönig, Maxwell; und in einer Reihe meisterhafter Abhandlungen auch von Clausius.

ligkeit zu bestimmen, mit welcher sich, entsprechend der Annahme einer fortschreitenden Bewegung, die Theilchen verschiedener Gase fortbewegen. Angenommen wir haben eine Gasart, die unter dem Druck einer Atmosphäre oder 15 Pfund auf den Quadratzoll steht, und schliessen sie in ein Gefäss von einem Cubikzoll Grösse und Weite. Aus dem Gewicht des Gases können wir die Geschwindigkeit berechnen, mit der seine Theilchen gegen die Seiten des Gefässes stossen müssen, um dem Druck von 15 Pfund zu widerstehen. Es ist schon von vornherein klar, dass, je leichter das Gas sich zeigt, desto grösser die Schnelligkeit der Theilchen sein muss, um die geforderte Kraft zu haben. Nach Clausius (Philosph. Magazine 1857, Vol. XIV, pag. 124) ist die durchschnittliche Schnelligkeit der Atome von Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff bei der Temperatur schmelzenden Eises die folgende:

	Fuss in der Sekunde.
Sauerstoff	1514
Stickstoff	1616
Wasserstoff	6050

Schon im Jahre 1848 fand Mr. Joule, dass die Schnelligkeit der Wasserstoffatome 6055 Fuss in der Sekunde betrage.

65. Nach dieser Hypothese müssen wir uns einen luftförmigen Körper als einen solchen vorstellen, dessen Theilchen in geradlinigen Bahnen durch den Raum fliegen und wie kleine Geschosse theils aneinander, theils gegen die Wände des Gefässes stossen. Ich bringe diese zur Hälfte mit Luft gefüllte Blase unter die Glocke der Luftpumpe und pumpe die Luft aus der Glocke. Die Blase schwillt; die in ihr enthaltene Luft scheint sie jetzt ganz

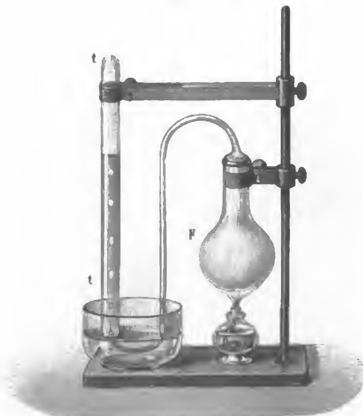
zu füllen, so dass alle ihre Falten und Runzeln verschwinden. Woher kommt diese Ausdehnung der Blase? Nach unserer heutigen Theorie ist sie von dem Anprall winzig kleiner Wurfgeschosse gegen die innere Fläche hervorgebracht, welche die Hülle nach aussen drängen, bis deren Spannung der Macht der Atombewegung gewachsen ist. Sowie wieder Luft in die Glocke gelassen wird, schrumpft die Blase zu ihrer früheren Grösse zusammen. Hierin müssen wir nun wiederum das Werk der Lufttheilchen sehen, welche, gegen die äussere Fläche der Blase anstürmend, diese Hülle nach innen treiben und gleichzeitig die Luftatome innerhalb derselben zwingen, ihr Feuer zu concentriren, bis endlich die Kraft von innen die von aussen wirkende aufwiegt und die Hülle in Ruhe bleibt. Nach dieser Hypothese sind also alle Einwirkungen, die wir von erwärmter Luft oder Dampf erfahren, dem Stoss der Gasatome zuzuschreiben. Sie erregen die Nerven auf die ihnen eigenthümliche Weise; die Nerven leiten die Bewegung zum Gehirn, und das Gehirn erklärt sie für Wärme. Also wird der Eindruck, den man beim Eintritt in den heissen Raum eines türkischen Bades empfängt, nur durch das Bombardement der Atome gegen den menschlichen Körper hervorgerufen. Ich lege Ihnen diese Hypothese als eine von bedeutenden Männern anerkannte vor, mich selbst jeder Meinung darüber enthaltend.

66. Wenn ich, statt diese Blase unter die Glocke der Luftpumpe zu bringen und die äussere Luft zu entfernen, durch Wärme die Flugkraft der Atome innerhalb der Blase steigere, fahren diese Atome, obwohl an Zahl verhältnissmässig wenig, mit solch ungestümer Kraft gegen die innere Fläche, dass die Hülle ihnen weichen muss; die Blase schwillt und wird scheinbar mit Luft gefüllt. Ich halte

nun die Blase nahe ans Feuer, und hier sehen Sie sie aufgeblasen, ohne alle Falten. Die Blase fängt die Wärmestrahlen auf, wird warm und theilt dann ihre Wärme durch Berührung der in ihr enthaltenen Luft mit.

67. Dies war nun eine einfache Erläuterung der ausdehnenden Kraft der Wärme, und ich habe hier etwas veranstaltet, was Ihnen dieselbe Thatsache auf andere Art beweisen soll. Hier ist eine Flasche *F* (Fig. 20), welche

Fig. 20.



bis auf die darin befindliche Luft leer ist, und die ich durch die darunter stehende, kleine Spirituslampe zu erwärmen gedenke. Von der Flasche geht eine gebogene Röhre zu dieser Schaale, die eine farbige Flüssigkeit enthält. In die Schaale reicht eine 2 Fuss lange Glasröhre *tt* hinein, welche oben geschlossen, unten aber offen ist. Sie wissen, dass der Luftdruck stark genug ist, eine flüssige Säule in dieser Röhre festzuhalten,

und Sie sehen sie jetzt bis zur Spitze mit der Flüssigkeit gefüllt. Die Röhre, welche aus der Flasche kommt, mündet gerade unter dem offenen Ende dieser stehenden Röhre, so dass, wenn eine Luftblase aus ersterer kommen sollte, sie in letztere hinaufsteigen muss.

Ich erwärme nun die Flasche, und die Luft darin dehnt sich aus den schon gegebenen Gründen aus; Blasen entsteigen dem Ende der gebogenen Röhre und dringen die Röhre *tt* hinauf. Die Luft drückt schnell die farbige Flüssigkeit hinunter, bis endlich, nach Verlauf weniger Sekunden, die ganze Flüssigkeit in der Röhre einer Säule von Luft gewichen ist.

68. Es ist ganz offenbar, dass die so durch Wärme ausgedehnte Luft leichter ist, als in ihrem gewöhnlichen unausgedehnten Zustande. Unsere Flasche ist nach diesem Experimente leichter als bei Beginn desselben und zwar um das Gewicht der von ihr in die aufrecht stehende Röhre übergegangenen Luft. Angenommen also, man füllt einen leichten Sack mit solcher gedehnten Luft, so ist es klar, dass er sich zu der schweren Luft, die ihn umgiebt, verhalten wird, wie ein Tropfen Oel im Wasser; das Oel steigt durch letzteres in die Höhe, weil es leichter ist. So wird auch unser Sack voll warmer Luft in der Atmosphäre in die Höhe steigen, und dies ist das Princip der durch Wärme gehobenen Luftballons. Mein Assistent zündet hier in dem Gefäss etwas Werg an, darüber stülpt er einen Trichter, und über den Trichter will ich die Mündung dieses Papierballons halten. Die erwärmte Luft, welche vom brennenden Werg aufsteigt, zieht in den Ballon und schwellt ihn, sein Hang zum Steigen macht sich schon bemerkbar. Ich lasse ihn los, und er segelt hinauf, bis die Decke des Zimmers ihn aufhält.

69. Aber wir dürfen uns nicht dabei begnügen, diese Erscheinungen nur im Allgemeinen zu betrachten; ohne genaue, quantitative Bestimmungen würden uns unsere Entdeckungen bald verwirren. Wir müssen nun fragen, wie gross die Ausdehnung ist, die eine gegebene Wärmemenge in einem Gase hervorrufen kann. Dies ist ein wichtiger Punkt und fordert unsere ganze Aufmerksamkeit. Wenn von dem Volumen eines Gases gesprochen wird, würden wir durchaus noch keinen bestimmten Begriff von seinem wirklichen Betrage haben, wenn die Angabe seiner Temperatur versäumt würde. So sehr wechselt das Volumen mit der Temperatur. Nehme man also ein gewisses Maass Gas von der Temperatur des Wassers, wenn es zu frieren beginnt, oder des Eises, wenn es anfängt zu schmelzen, das heisst also von der Temperatur von 32° F. oder 0° Cent., und erhöhe die Temperatur dieser Gasmasse um einen Grad, während der Druck auf jeden Quadratzoll der Hülle, die das Gas einschliesst, constant erhalten wird. Das Volumen des Gases wird um einen Betrag ausgedehnt werden, den wir a nennen wollen. Man erhöhe seine Temperatur um einen zweiten Grad, und sein Volumen wird um $2a$ zunehmen; ein dritter Grad wird eine Ausdehnung um $3a$ verursachen und so fort. Also sehen wir, dass mit jedem Grade, den wir der Temperatur des Gases zusetzen, dies um denselben Betrag ausgedehnt wird. Was ist nun dieser Betrag? Welches auch das Quantum des Gases bei der Temperatur des Gefrierpunktes sei, wenn wir diese um einen Grad Fahrenheit erhöhen, steigern wir sein Volumen um $^1/_{490}$ seiner Grösse. Beim Erhöhen der Temperatur um einen Centesimalgrad steigern wir dem entsprechend sein Volumen um $^1/_{273}$ seiner Grösse. Ein Cubikfuss Gas, zum Beispiel von 0° C. wird

beim Erwärmen zu 1° C., $1^1/_{273}$ Cubikfuss, oder in Decimalen ausgedrückt:

1 Vol. von 0° C. wird 1 + 0,00366 bei 1° C.;
Bei 2° C. wird es 1 + 0,00366 × 2;
Bei 3° C. wird es 1 + 0,00366 × 3, u. s. w.

Die stehende Zahl 0,00366, welche den Bruchtheil des eigenen Volumens ausdrückt, den ein Gas an Ausdehnung gewinnt, wenn es von der Temperatur des Gefrierpunkts zu der eines Grades erwärmt wird, nennt man den Ausdehnungscoëfficienten des Gases. Natürlich wird, wenn wir die Grade von Fahrenheit benutzen, der Coëfficient im Verhältniss von 9 zu 5 kleiner sein.

70. Es ist eine sehr bemerkenswerthe und bedeutungsvolle Thatsache, dass alle permanenten Gase sich fast genau um denselben Betrag ausdehnen, wenn ihrer Temperatur ein Grad zugesetzt wird. Wir können hieraus mit grösster Wahrscheinlichkeit den wichtigen Schluss abnehmen, dass in allen Fällen, wo Wärme ein Gas zur Ausdehnung treibt, ihre Thätigkeit allein in der Ueberwindung des constanten Druckes von aussen besteht; oder in anderen Worten, dass die Wärmewirkung durch gegenseitige Anziehung der Gasatome nicht gehindert wird; denn wäre dies der Fall, so könnten wir mit allem Rechte erwarten, bei verschiedenen Gasen dieselben Unregelmässigkeiten der Ausdehnung wie bei festen und flüssigen Körpern zu finden. Ich sagte absichtlich „fast um genau denselben Betrag“, denn viele Gase, die bei allen gewöhnlichen Temperaturen ihren gasförmigen Zustand behalten, weichen etwas von der Regel ab. Dies wird aus der folgenden Tabelle klar werden:

Namen des Gases.	Ausdehnungscoëfficient.
Wasserstoff	0,00366
Luft	0,00367
Kohlenoxyd	0,00367
Kohlensäure	0,00371
Stickstoffoxydulgas	0,00372
Schweflige Säure	0,00390.

Hier stimmen Wasserstoff, Luft und Kohlenoxyd sehr nahe überein. Dennoch besteht ein kleiner Unterschied, und der Coëfficient des Wasserstoffs ist der kleinste. In den anderen Fällen bemerken wir eine grössere Abweichung von der Regel, und es ist besonders zu beachten, dass die Gase, welche am meisten abweichen, auch diejenigen sind, die dem Punkte, wo sie flüssig werden, am nächsten stehen; die ersten drei Gase der Tabelle sind bisher noch nicht zu Flüssigkeiten verdichtet worden, wohl aber die anderen. Diese letzteren sind in der That unvollkommene Gase, die eine Art Zwischenstellung zwischen dem flüssigen und vollkommenen Gaszustande einnehmen.

71. So weit im Klaren, wollen wir uns nun mit langsamen Schritten einem interessanten, aber schwierigen Gegenstande nähern. Angenommen, ich habe eine Quantität Luft in einem sehr hohen Cylinder *AB* (Fig. 21), dessen Querdurchschnitt einen Quadratzoll Flächeninhalt hat. Das Ende *A* des Cylinders soll der Luft offen stehen, und *P* soll ein Stempel sein, den ich aus nachher zu erklärenden Gründen zwei Pfund eine Unze wiegen lasse, und der sich luftdicht schliessend und ohne Reibung im Cylinder auf und ab bewegt. Beim Beginn des Experiments mag der Stempel am Punkte *P* des Cylinders stehen, und die Höhe des Cylinders von seinem Boden *B* bis zum Punkte *P* 273 Zoll betragen, während die Luft unterhalb des Stempels von der Temperatur von 0° C. ist. Wenn wir

nun diese Luft von 0° zu 1° C. erwärmen, erhebt sich der Stempel um einen Zoll und wird nun 274 Zoll über dem Boden des Cylinders stehen. Wenn die Temperatur um zwei Grade erhöht wird, wird der Stempel auf 275 Zoll stehen. Ist sie um drei Grade erhöht, wird er auf 276 stehen; um zehn Grade erhöht auf 283; um hundert Grade erhöht, wird er 373 Zoll über dem Boden stehen, und wenn endlich die Temperatur bis zu 273° C. gesteigert würde, ist es demnach klar, dass 273 Zoll der Höhe der Luftsäule unterhalb des Stempels zugefügt würden, oder in anderen Worten, dass durch Erwärmung der Luft auf 273° C. ihr Volumen verdoppelt würde.

Fig. 21.



72. Bei diesem Experiment vollführt das Gas eine Arbeit. Wenn es sich über *P* hinaus ausdehnt, muss es den Druck der Atmosphäre, welcher 15 Pfund auf den Quadratzoll beträgt, und die Schwere des Stempels überwinden, dessen Gewicht 2 Pfund und 1 Unze ist. Da nun der Durchschnitt des Cylinders einen Quadratzoll Flächeninhalt hat, ist die Arbeit, welche das Gas vollzieht, indem es sich von *P* zu *P'* ausdehnt, gleich der Arbeit, die es beim Heben eines Gewichtes von 17 Pfund 1 Unze oder 273 Unzen zu einer Höhe von 273 Zoll thun würde. Es ist ganz dasselbe, als wenn die Luft über *P* ganz aufgehoben und ein Stempel von der Schwere von 17 Pfund 1 Unze bei *P* angebracht wäre.

73. Wir wollen nun unser Experiment ändern, und statt das Gas sich bei seiner Erwärmung ungehindert ausdehnen zu lassen, vielmehr seiner Ausdehnung entgegen-

treten, indem wir den Druck darauf vergrössern. In anderen Worten, sein Volumen soll constant bleiben, während es erwärmt wird. Nehmen wir, wie vorher, die Anfangstemperatur des Gases als 0° C., den Druck darauf mit Einschluss des Stempels *P* wie früher als 273 Unzen an. Wir erwärmen nun die Luft von 0° C. zu 1° C.; welches Gewicht werden wir *P* hinzufügen müssen, um das Volumen der Luft constant zu erhalten? Gerade eine Unze. Wir haben uns am Anfang die Luft unter einem Druck von 273 Unzen gedacht, und der Druck, den sie trägt, ist das Maass ihrer elastischen Kraft; demnach hat sich durch die Erwärmung um einen Grad die elastische Kraft der Luft um $^1/_{273}$ dessen, was sie bei der Temperatur von 0° C. betrug, gesteigert. Wenn wir die Luft zu 2° erwärmen, müssen 2 Unzen dem Druck hinzugefügt werden, der ihr Volumen constant erhalten soll. Erwärmen wir sie zu 3°, müssen es 3 Unzen sein, und erhöhen wir ihre Temperatur zu 273°, so werden wir 273 Unzen zum Gewicht hinzufügen müssen; also müssten wir den Druck verdoppeln, um das Volumen constant zu erhalten.

74. Bloss der Einfachheit wegen, und um Brüche zu vermeiden, habe ich gerade den anfänglichen Druck von 273 Unzen angenommen. Was auch der Druck sein mag, die Erhöhung der Temperatur des Gases um 1° C. bringt stets eine Steigerung von $^1/_{273}$ in der elastischen Kraft hervor, die das Gas bei der Temperatur des Gefrierpunkts besass, und wenn wir diese Temperatur auf 273° erhöhen, wird, während das Volumen constant bleibt, die elastische Kraft des Gases verdoppelt. Lassen Sie uns einmal dieses Experiment mit unserem vorigen vergleichen. Bei jenem erwärmten wir eine gewisse Menge Gas von 0° zu 273° C. und verdoppelten dadurch sein

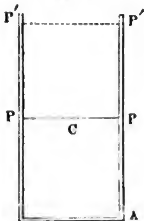
Volumen, womit wir erreichten, dass dasselbe ein Gewicht von 273 Unzen zu einer Höhe von 273 Zoll hob. Bei diesem erwärmen wir dieselbe Menge Gas von 0° zu 273° C., aber wir gestatten ihr nicht ein Gewicht zu heben, sondern bewahren ihr ein constantes Volumen. Die Quantität der erwärmten Materie ist in beiden Fällen die gleiche; die Temperatur, zu welcher sie erwärmt wird, ist dieselbe; aber ist auch die absolute Wärmequantität, die der Luft mitgetheilt wird, in beiden Fällen dieselbe? Keineswegs. Angenommen, man brauche 10 Gran verbrennbaren Stoffes, um die Temperatur des Gases, dessen Volumen constant erhalten wird, auf 273° zu erhöhen, so würden, um die Temperatur des Gases, dessen Druck constant erhalten wird, zu gleicher Höhe zu bringen, 14¼ Gran desselben brennbaren Stoffes erforderlich sein. Die Wärme, welche durch das Verbrennen der hinzugefügten 4¼ Gran in letzterem Falle erzeugt ist, wird vollständig für die Hebung des Gewichts verbraucht. Um es in genauen Zahlen auszudrücken: Die Wärmequantität, welche erfordert wird, wenn das Volumen constant bleibt, steht zu der Wärmequantität, die erfordert wird, wenn der Druck constant bleibt, in dem Verhältniss von 1 zu 1,421.

75. Dieses ausserordentlich wichtige Factum bildet die Basis, auf welche die erste Berechnung des mechanischen Aequivalents der Wärme gegründet wurde. Hier haben wir nun einen Punkt erreicht, welcher Ihre ausschliessliche Aufmerksamkeit fordert und ihrer auch werth ist. Ich will versuchen, diese Berechnung vor Ihnen zu machen.

76. *C* (Fig. 22 a. f. S.) soll ein cylinderförmiges Gefäss sein, dessen Querschnitt einen Quadratfuss beträgt. *PP* bezeichnet die Oberfläche eines Cubikfusses Luft von der Temperatur von 0° C. oder 32° F. Die Höhe des Cylin-

ders von A bis P ist also ein Fuss. Wir wollen die Luft erwärmen, bis ihr Volumen verdoppelt ist; um dies zu erreichen, muss, wie vorher erklärt, ihre Temperatur um 273° C. oder 490° F. erhöht werden, und nach dieser Ausdehnung wird ihre Oberfläche bei $P' P'$ einen Fuss über ihrer anfänglichen Lage stehen. Aber beim Steigen von $P P$ zu $P' P'$ hat sie die Atmosphäre zurückgedrängt, die einen Druck von 15 Pfund auf jeden Quadratzoll ihrer Oberfläche ausübt oder, mit anderen Worten, ein Gewicht von $144 \times 15 = 2160$ Pfund einen Fuss in die Höhe gehoben.

Fig. 22.



77. Die Wärmecapacität der so gedehnten Luft beträgt 0,24, wenn Wasser als Einheit angenommen wird. Das Gewicht unseres Cubikfusses Luft ist 1,29 Unzen; also würde die Quantität Wärme, die erforderlich ist, um 1,29 Unzen Luft zu 490° F. zu erwärmen, etwas weniger als ein Viertel dieses Gewichts Wasser zu der Temperatur von 490° F. bringen. Die Quantität Wasser, die unseren 1,29 Unzen Luft genau entsprechen würde, ist $1{,}29 \times 0{,}24 = 0{,}31$ Unzen.

78. Aber 0,31 Unzen Wasser auf 490° F. erwärmt, sind gleichgeltend mit 152 Unzen oder $9\frac{1}{2}$ Pfund um 1° erwärmt. Also würde die Wärme, die unserem Cubikfuss Luft mitgetheilt, sein Volumen verdoppelt und ihn fähig macht, ein Gewicht von 2160 Pfund einen Fuss hoch zu heben, die Temperatur von $9\frac{1}{2}$ Pfund Wasser um einen Grad Fahrenheit erhöhen können.

79. Die Luft ist hier unter constantem Drucke erwärmt worden, und wir haben erfahren, dass die Wärmemenge, die man braucht, um die Temperatur eines

Gases unter constantem Drucke um eine gewisse Anzahl Grade zu erhöhen, zu derjenigen Wärmemenge, die erforderlich ist, das Gas, dessen Volumen constant erhalten wird, zu demselben Wärmegrad zu erheben, in dem Verhältniss von 1,42 : 1 steht; hieraus haben wir das Ergebniss

1,42 : 1 = 9,5 Pfund : 6,7 Pfund,

welches zeigt, dass die Wärmemenge, die man braucht, um die Temperatur unseres Cubikfusses Luft bei constantem Volumen auf 490° F. zu steigern, 6,7 Pfund Wasser um 1° F. erwärmen würde.

80. Wenn wir 6,7 Pfund von 9,5 Pfund abziehen, finden wir, dass der Ueberschuss von Wärme, welcher der Luft in dem Falle, wo sie sich ausdehnen darf, mitgetheilt wird, fähig wäre, 2,8 Pfund Wasser um einen Wärmegrad zu erhöhen.

81. Wie bereits erklärt, wird dieser Ueberschuss dazu benutzt, ein Gewicht von 2160 Pfund einen Fuss hoch zu heben. Wenn wir 2160 durch 2,8 theilen, finden wir, dass eine Quantität Wärme, die genügen würde, 1 Pfund Wasser um 1° F. in der Temperatur zu erhöhen, fähig ist, ein Gewicht von 771,4 Pfund einen Fuss zu heben.

82. Dieser Weg zur Berechnung des mechanischen Aequivalents der Wärme wurde von Dr. Mayer, einem Arzte in Heilbronn, im Frühjahr 1842 eingeschlagen.

83. Mayer's erste Abhandlung enthält nur eine Andeutung des Weges, auf welchem er das Aequivalent gefunden hat, aber nicht die Details der Berechnung. Darin sprach er das Gesetz von der Wandelbarkeit und Unzerstörbarkeit der Kraft aus und nahm auf das mechanische Aequivalent der Wärme nur insofern Bezug, als es zur

Erläuterung seiner Grundsätze diente. Die Abhandlung war offenbar nur eine Art vorläufiger Note, um das Datum seiner Entdeckung festzustellen. Ihr Verfasser lag einem mühsamen Berufe ob, und die sehr beschränkte Zeit, die er der Wissenschaft widmen konnte, nöthigte ihn, sich gegen die Folgen der Verzögerung zu sichern. Mayer's folgende Arbeiten verliehen der Theorie, welche sie weiter ausführten, hohe Wichtigkeit. Im Jahre 1845 veröffentlichte er einen Aufsatz über organische Bewegung, welcher, wenn auch hier und da etwas daran auszusetzen sein mag, im Ganzen doch ein Erzeugniss von ausserordentlichem Werth und Bedeutung ist. Diesem folgten 1848 Beiträge zur Dynamik des Himmels, in welchen er mit wunderbarer Kühnheit, mit Scharfsinn und Ausführlichkeit die meteorische Theorie der Sonne entwickelt. Und diesen folgte eine vierte Schrift im Jahre 1851, welche ebenso den Stempel geistiger Ueberlegenheit trägt. Im Ganzen und Grossen genommen kann Dr. Mayer das Recht nicht abgesprochen werden, als Mann von wahrem Genie in der ersten Reihe unter den Begründern der dynamischen Theorie der Wärme zu stehen.

84. Am 21. August 1843 übergab Mr. Joule der britischen Naturforschergesellschaft, die damals in Cork zusammenkam, eine Abhandlung, und im dritten Theile dieser Abhandlung *) beschreibt er eine Reihe von Experimenten über Magnetoelektricität, die er in der Absicht ausgeführt hatte, den „mechanischen Werth der Wärme“ zu bestimmen. Das Resultat dieser sorgfältigen Untersuchung gab an, dass folgende einen Fuss gehobene Gewichte das Aequivalent der Erwärmung von 1 Pfund Wasser auf 1° F. seien.

---

*) Phil. Mag. 1843, vol. XXIII, p. 435.

1.	896 Pfund	5.	1026 Pfund
2.	1001 „	6.	587 „
3.	1040 „	7.	742 „
4.	910 „	8.	860 „

85. Aus Versuchen über den Durchgang von Wasser durch enge Röhren leitete Mr. Joule ein Aequivalent von:

770 Fusspfund her.

86. Im Jahre 1848 leitete Mr. Joule aus Experimenten über die Verdichtung der Luft die folgenden Aequivalente für die Erwärmung von einem Pfund Wasser auf 1° F. ab:

823 Fusspfund
795 „
820 „
814 „
760 „

87. In dem Maasse als die Erfahrung des Beobachters wuchs, finden wir seine Resultate immer näher übereinstimmend. 1845 zog Mr. Joule von Experimenten mit Wasser, welches durch ein Schaufelrad bewegt ward, ein Aequivalent von

890 Fusspfund.

88. Als er 1845 seine Resultate summirte und das Mittel nahm, fand er als Aequivalent

817 Fusspfund.

89. 1847 fand er als Mittel zweier Experimente ein Aequivalent von

781,8 Fusspfund.

90. Im Jahre 1849 endlich erhielt er bei Anwendung aller der Vorsichtsmaassregeln, die ihn eine siebenjährige

Erfahrung gelehrt hatte, folgende Zahlen für das mechanische Aequivalent der Wärme:

772,692	durch Reibung von Wasser,	Mittel von	40 Experimenten
774,083	„ „ „ Quecksilber,	„ „	50 „
774,987	„ „ „ Gusseisen,	„ „	20 „

Diese Experimente von Mr. Joule gehören mit zu den denkwürdigsten, die je gemacht worden sind. Sie bilden für sich allein eine genaue Darlegung der dynamischen Theorie der Wärme.

91. Aus Gründen, die er in seiner Abhandlung angiebt, stellt Mr. Joule als richtiges Aequivalent fest:

772 Fusspfund für 1° F.

92. Nach der Methode, die Mayer 1842 verfolgte, ist das Aequivalent

771,4 Fusspfund.

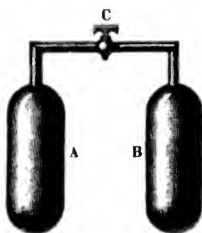
Solche Uebereinstimmung befreit den Geist von jedem Schatten von Ungewissheit in Betreff der Richtigkeit unseres jetzigen mechanischen Aequivalents der Wärme.

93. Nicht seine Experimente allein, sondern der Geist, den sie in sich schliessen, und die Anwendung, die ihr Erfinder von ihnen machte, berechtigen Mr. Joule, mit unter die ersten Physiker gestellt zu werden. Mayer's Arbeiten tragen gewissermaassen den Stempel einer tiefsinnigen Anschauung, welche jedoch in des Verfassers Geist die Kraft unzweifelhafter Ueberzeugung gewonnen hatte. Joule's Arbeiten sind im Gegentheil experimentelle Beweise. Mayer vollendete seine Theorie geistig und führte sie zu ihrer grossartigsten Anwendung; Joule arbeitete sich seine Theorie heraus und gab ihr die Sicherheit einer Naturwahrheit. Treu dem speculativen Instinkt seines Landes, zog Mayer grosse und wichtige Schlüsse aus unbedeutenden Vordersätzen; während der

Engländer vor Allem darauf bedacht war, Thatsachen unwiderruflich festzustellen. Der künftige Historiograph der Wissenschaft wird, denke ich, diese Männer nicht als Widersacher hinstellen. Jedem gehört ein Ruf, der nicht so bald dahinschwinden wird, denn Jeder hat Theil nicht nur an der Aufstellung der dynamischen Theorie der Wärme, sondern auch an der Eröffnung des Weges, der zu einer richtigen Schätzung des allgemeinen Kraftvoraths des Universums führt.

94. Lassen Sie uns noch einmal Halt machen, ehe wir weitere Schlüsse ziehen über den Einfluss, den die Leistung von Arbeit auf die einem Gase mitzutheilende Wärmemenge hat. Ist es nicht möglich, ein Gas sich ausdehnen zu lassen, ohne dass es Arbeit verrichtet? Diese Frage wird durch das folgende wichtige Experiment beantwortet, welches zuerst von Gay-Lussac angestellt worden ist. Hier sind zwei Kupfergefässe *A*, *B* (Fig. 23) von gleicher Grösse, deren eines, *A*, luftleer, das andere, *B*, mit Luft gefüllt ist. Ich drehe den Hahn *C*, und die Luft strömt aus *B* nach *A*, bis in beiden Gefässen derselbe Druck stattfindet. Nun vollzieht die Luft, indem sie ihre eigenen Theilchen aus *B* treibt, Arbeit, und aus früher gemachten Experimenten wissen wir, dass die Luft, welche in *B* zurückbleibt, abgekühlt sein muss. Die Lufttheilchen kommen nach *A* mit einer gewissen Schnelligkeit, welche zu erzeugen die Luft in *B* ihre Wärme hergeben muss; allein sie stossen gleich darauf gegen die innere Fläche von *A*, ihre Translationsbewegung wird dadurch zerstört, und

Fig. 23.



genau die Quantität Wärme, die aus *B* verschwand, findet sich nun in *A* wieder. Mischen Sie den Inhalt von *A* und *B*, und Sie haben wieder Luft von der anfänglichen Temperatur. Es wird hierbei keine Arbeit gethan und auch keine Wärme verbraucht. Mr. Joule machte dies Experiment, indem er Luft bis zu 22 Atmosphären Druck in eines seiner Gefässe presste, während das andere luftleer war. In dem Wasser, womit er beide Gefässe umgab, und welches gehörig bewegt erhalten wurde, zeigte sich keine Steigerung der Temperatur, als man das Gas von einem Gefäss in das andere strömen liess *). In gleicher Weise denken Sie sich das obere Ende des Cylinders (Fig. 22) geschlossen, und die Hälfte desselben über dem Stempel vollkommen luftleer; und nehmen Sie an, dass die Luft in der unteren Hälfte auf 273° erwärmt sei, während ihr Volumen constant erhalten wird. Wenn der Druck entfernt wäre, würde sich die Luft ausdehnen und den Cylinder füllen; der untere Theil der Luftsäule würde dabei abgekühlt, aber der obere Theil erwärmt werden, und wenn wir beide Theile vermischten, würden wir die ganze Säule von einer Temperatur von 273° haben. In diesem Falle erhöhen wir die Temperatur der Luft von 0° zu 273° und lassen sie dann ihr Volumen verdoppeln; die Temperatur der Luft am Anfang und am Ende ist dieselbe, als wenn sich die Luft unter constantem Drucke ausgedehnt oder ein constantes Gewicht gehoben hätte; aber die absolute Wärmequantität wäre in letzterem Falle 1,421 Mal so gross als die in ersterem Falle gebrauchte, und dieser Unterschied ist dem Umstande zuzuschreiben, dass die Luft in einem Falle mechanische Arbeit verrichtet und im anderen nicht.

---

*) Phil. Mag. 1845, vol. XXVI, p. 378.

95. Dieses Experiment zeigt uns, dass Verdünnung allein nicht genügt, eine Erniedrigung der mittleren Temperatur einer Luftmasse hervorzubringen. Es war und ist noch die durchgängige Meinung, dass blosse Ausdehnung eines Gases Abkühlung bewirke, gleichviel in welcher Weise diese Ausdehnung zu Stande gebracht sei. Die Kälte der oberen Regionen der Atmosphäre schrieb man der Ausdehnung der Luft zu. Man dachte sich, dass dasjenige, was wir „Wärmecapacität“ genannt haben, bei verdünnten Luftarten grösser sei, als bei unverdünnten, und dass daher Abkühlung die Folge von Verdünnung sein müsse. Aber die Abkühlung, welche bei Ausdehnung stattfindet, ist in der That dem Uebergang von Wärme in Arbeit zuzuschreiben. Wo keine Arbeit verrichtet wird, findet auch keine Abkühlung der Gesammtmasse statt. Alles dies erfordert Nachdenken, um klar zu werden, aber jede Anstrengung dieser Art, die Sie sich jetzt auferlegen, wird Ihnen spätere Bemühungen erleichtern; und sollten Sie jetzt noch nicht zu klarem Verständniss gelangen können, so wiederhole ich nur meine Bitte um Geduld. Verlassen Sie nicht diesen Theil unseres Gegenstandes ohne den Versuch, ihn zu verstehen — ringen Sie eine Zeit damit, aber verzagen Sie nicht, wenn es Ihnen nicht gelingen sollte, zur Klarheit zu kommen.

96. Ich habe Ihre Aufmerksamkeit nun auf eine andere, interessante Frage zu lenken. Wir haben gesehen, wie die elastische Kraft unserer Luftart durch Erhöhung der Temperatur gesteigert wird. In einer unbiegsamen Hülle haben wir für jeden Grad der Temperatur einen bestimmten Zuwachs elastischer Kraft, welcher der gesteigerten Energie der Gasatomgeschosse zuzuschreiben ist. Wenn wir von 0° C. aufwärts rechnen, so finden wir, dass jeder Grad, welcher der Temperatur zugesetzt wird

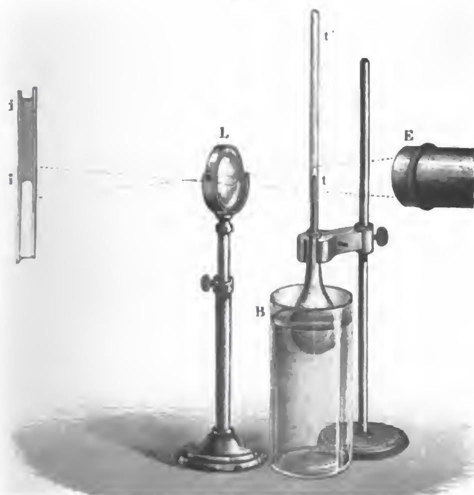
eine Steigerung der elastischen Kraft hervorbringt, die $^1/_{273}$ derjenigen Kraft beträgt, die das Gas bei 0° besitzt, und dass wir daher durch das Erhöhen um 273° die elastische Kraft verdoppeln. Setzen wir nun voraus, dass dasselbe Gesetz gültig sei, wenn wir von 0° abwärts rechnen — dass wir also mit jedem Grad, um den wir die Temperatur des Gases erniedrigen, seine elastische Kraft oder die Atombewegung, welche diese Kraft erzeugt, um $^1/_{273}$ des Betrages, den sie bei 0° hatte, verringern, so ist es offenbar, dass bei einer Temperatur von 273° C. unter 0° wir überhaupt gar keine elastische Kraft mehr haben würden. Die Atombewegung, von der die elastische Kraft herrührt, muss hier aufhören, und wir erreichen das, was man den absoluten Nullpunkt der Temperatur nennt.

Unzweifelhaft weicht in der Wirklichkeit jedes Gas von dem oben erwähnten Gesetz der Zusammenziehung ab, ehe es soweit sinkt, und würde ein fester Körper werden, ehe es —273° C. oder den absoluten Nullpunkt erreichte. Er liegt bedeutend unter jeder Temperaturstufe, die wir bis jetzt zu erzielen im Stande waren. Ich will heute Ihren Köpfen keine weitere Anstrengung in Verbindung mit diesem Gegenstande zumuthen, sondern darauf übergehen, die Ausdehnung von Flüssigkeiten durch Wärme experimentell zu erläutern.

97. Hier ist ein Glaskolben, mit Alkohol gefüllt und fest zugepfropft. Durch den Kork geht eine Röhre *t'* (Fig. 24) wasserdicht. Die Flüssigkeit steht ungefähr einen Fuss hoch in der Röhre. Ich will die Flasche erwärmen, der Alkohol wird sich ausdehnen und in der Röhre steigen. Aber ich wünsche, dass Sie ihn steigen sehen, und um Ihnen das möglich zu machen, werde ich die Röhre *tt'* vor die elektrische Lampe *E* bringen und einen starken

Lichtstrahl auf den Punkt *t*, wo die flüssige Säule endet, fallen lassen; die Röhre und Säule sind somit erleuchtet. Vor die Röhre stelle ich diese Linse *L* in solcher Entfer-

Fig. 24.



nung auf, dass sie ein vergrössertes Bild *i i* der Säule auf den Schirm werfen soll. Sie sehen deutlich, wo die Säule aufhört, und wenn sie sich bewegt, werden Sie ihre Bewegung wahrnehmen können. Ich brauche wohl nicht zu sagen, dass das Bild auf dem Schirm umgekehrt ist, und dass, wenn die Flüssigkeit sich ausdehnt, das Ende der Säule auf dem Schirme abwärts steigen wird. Ich fülle diesen Becher *B* mit warmem Wasser und hebe ihn so hoch, dass das warme Wasser den Glaskolben umgiebt.

Beachten Sie das Experiment von Anfang an: Die Flasche ist nun im warmen Wasser, und das Ende unserer Säule auf dem Schirme steigt hinauf, als ob sich die Flüssigkeit zusammenzöge. Nun hält es an und beginnt hinabzufallen, in welcher Bewegung es jetzt bleiben wird. Aber woher dies erste Aufsteigen? Es ist nicht der Zusammenziehung der Flüssigkeit, sondern der augenblicklichen Ausdehnung der Flasche zuzuschreiben, welcher sich die Wärme zuerst mittheilt. Das Glas dehnt sich aus, ehe eine merkliche Wärmemenge die Flüssigkeit erreichen kann, und daher fällt die Säule; aber die Ausdehnung der Flüssigkeit übersteigt bald die des Glases, und die Säule steigt. Hierdurch werden zwei Dinge anschaulich: Die Ausdehnung des festen Glases durch Wärme, und die Thatsache, dass die bemerkte Ausdehnung der Flüssigkeit uns nicht den wahren Zuwachs ihres Volumens giebt, sondern nur den Unterschied zwischen der Ausdehnung der Flüssigkeit und der des Glases.

98. Hier ist eine andere Flasche mit Wasser gefüllt, von derselben Grösse wie die frühere und mit einer gleichen Röhre versehen. Ich bringe sie in dieselbe Stellung und wiederhole mit ihr das Experiment, was vorher mit dem Alkohol gemacht wurde. Sie sehen zuerst den vorübergehenden Einfluss, den die Ausdehnung des Glases ausübt, und dann die dauernde Ausdehnung der Flüssigkeit, aber können bemerken, dass die Ausdehnung viel langsamer fortschreitet als bei dem Alkohol; der Alkohol dehnt sich schneller aus als das Wasser. Wir könnten nun noch Hunderte von Flüssigkeiten in dieser Weise beobachten und finden, dass sie sich alle durch Wärme ausdehnen, und möchten uns dadurch zu dem Schlusse verleiten lassen, dass Ausdehnung durch Wärme ein ausnahmloses Gesetz sei; aber wir würden darin irren. Ge-

rade in der Absicht, Ihnen eine Ausnahme dieser Art zu veranschaulichen, habe ich diese Flasche voll Wasser gewählt. Ich will die Flasche abkühlen, indem ich sie in eine Substanz tauche, die etwas kälter ist als Wasser, wenn es anfängt zu gefrieren. Diese Substanz ist gewonnen, indem man gestossenes Eis mit Salz mischte. Sie sehen die Säule allmälig sinken, die Wärme muss der Frostmischung abgegeben werden, und das Wasser zieht sich zusammen. Das Zusammenziehen geht jetzt sehr langsam und jetzt steht es ganz still. Eine leichte Bewegung nach der entgegengesetzten Richtung beginnt, und nun *dehnt sich die Flüssigkeit sichtlich aus.* Ich rühre in der Frostmischung, so dass kältere Theile davon mit der Flasche in Berührung kommen; je kälter die Mischung, je schneller die Ausdehnung. Hier sehen wir also die Natur in ihrem gewöhnlichen Laufe innehalten und ihre Gewohnheiten umkehren. Thatsache ist, dass das Wasser sich zusammenzieht, bis es eine Temperatur von 39° F. oder 4° C. erreicht, bei welchem Punkt die Zusammenziehung aufhört. Dies ist der *Punkt der grössten Dichtigkeit* des Wassers; von hier abwärts bis zum Gefrierpunkt dehnt sich die Flüssigkeit aus, und wenn sie sich in Eis verwandelt, ist die Ausdehnung bedeutend. Eis schwimmt, wie wir wissen, auf dem Wasser, da es durch diese Ausdehnung leichter geworden ist. Wenn wir nun Wärme zuführen, ist die Reihenfolge der Veränderungen umgekehrt: die Säule fällt und zeigt die *Zusammenziehung der Flüssigkeit durch Wärme.* Nach einer Weile hört die Zusammenziehung auf, und es tritt anhaltende Ausdehnung ein.

99. Die Kraft, mit welcher diese molecularen Veränderungen sich vollziehen, ist durchaus unwiderstehlich. Die Veränderungen finden gewöhnlich unter Bedingungen statt,

die uns keine Gelegenheit bieten, die Kraft zu beobachten, welche bei ihrer Ausführung wirkt. Aber um Ihnen ein Beispiel von dieser Kraft zu geben, habe ich eine Quantität Wasser in diese eiserne Flasche eingeschlossen. Das Eisen ist reichlich einen halben Zoll dick und die Wassermenge klein, doch genügend, um die Flasche zu füllen. Die Flasche ist durch eine Schraube geschlossen, die fest in ihrem Halse sitzt. Hier ist eine zweite Flasche derselben Art, in gleicher Weise zurecht gemacht. Beide lege ich in dies Kupfergefäss und umgebe sie mit einer Frostmischung. Sie werden allmälig kälter; das Wasser in ihrem Inneren nähert sich seinem Punkt grösster Dichtigkeit; ohne Zweifel füllt in diesem Augenblick das Wasser die Flasche nicht ganz, ein kleiner luftleerer Raum entsteht in ihr. Aber bald hört die Zusammenziehung auf und Ausdehnung tritt ein; der luftleere Raum füllt sich langsam, das Wasser geht allmälig vom flüssigen zum festen Zustand über; dazu braucht es mehr Raum, den ihm das starre Eisen nicht geben will. Aber seine Härte ist machtlos gegen die Kraft der Atome. Diese Atome sind verkappte Riesen. Hören Sie dies Geräusch? Die Flasche wird von den krystallisirenden Atomen zertrümmert — nun ist auch die andere Flasche geborsten, und hier sind die Scherben beider Gefässe, an denen Sie ihre Dicke erkennen können und einen Eindruck von der Stärke jener Kraft empfangen werden, durch welche sie so zerrissen sind *).

100. Sie werden nun ohne Schwierigkeit den Einfluss des Frostwetters auf die Wasserleitungsröhren Ihrer

*) Metallcylinder von 1 Zoll Dicke können der zersetzenden Kraft einer kleinen galvanischen Batterie nicht widerstehen. Mr. Gassiot hat viele solche Cylinder durch elektrolytisches Gas gesprengt.

Häuser verstehen. Ich habe hier eine Anzahl ganz gespaltener Stücke solcher Röhren. Sie merken den Schaden erst, wenn das Thauwetter eintritt, aber er ist zur Zeit des Frostes geschehen; die Röhren bersten, und wenn die feste Substanz in ihnen wieder flüssig wird, läuft das Wasser durch ihre Ritzen.

101. Es ist kaum nöthig, dass ich ein Wort über die Wichtigkeit dieser Eigenschaft des Wassers im Haushalte der Natur sage. Denken Sie sich einen See unter einem klaren Winterhimmel. Das Wasser an der Oberfläche wird kalt, zieht sich zusammen, wird dadurch schwerer und sinkt vermöge seines grösseren Gewichts, während sein Platz von dem leichteren Wasser von unten eingenommen wird. Nach einer Weile wird dieses auch kalt und sinkt nun seinerseits. Auf diese Weise ist eine Circulation hergestellt, indem das kalte, dichte Wasser hinabsinkt und das wärmere und leichtere an die Oberfläche steigt. Denken wir uns dies fortgesetzt, nachdem sich schon die ersten Eiskrusten an der Oberfläche gebildet haben; das Eis würde sinken, sowie es sich gebildet hätte *), und dieser Process so lange fortdauern, bis alles Wasser des Sees in festen Zustand übergegangen wäre. Die Folge davon würde der Tod jedes lebenden Wesens im Wasser sein. Aber gerade, wenn die Sachen kritisch werden, tritt die Natur aus ihrem gewöhnlichen Gange

*) Professor William Thomson hat neuerlich einen Punkt berührt, welcher die ernste Beachtung aller theoretischen Geologen verdient: Angenommen, dass sich die Bestandtheile der Erdkruste beim Festwerden zusammenziehen, wie die Experimente von Bischoff erkennen lassen, würde ein Einbrechen und Sinken der Kruste unfehlbar ihrer Bildung gefolgt sein. Unter diesen Umständen fällt es ausserordentlich schwer zu denken, dass sich eine feste Schale um einen flüssigen Kern bilden sollte, wie gewöhnlich angenommen wird. Mr. Nasmyth jedoch theilt mir mit, dass sich geschmolzene Felsarten beim Festwerden ausdehnen.

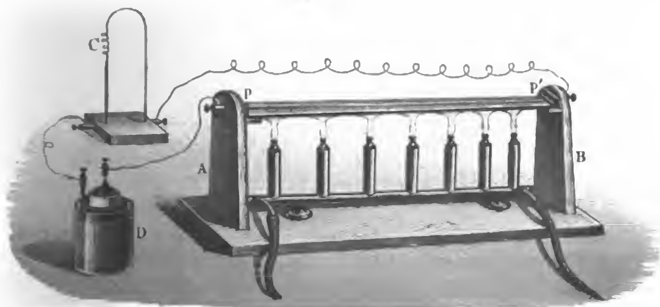
heraus, lässt sich das Wasser durch Abkühlung ausdehnen, und das kalte Wasser wie flüssiges Fett auf der Oberfläche des unteren wärmeren Wassers schwimmen. Später wird es fest; aber die feste Substanz ist viel leichter, als die darunter liegende Flüssigkeit, und das Eis bildet ein schützendes Dach über den lebenden Wesen der Tiefe.

102. Solche Thatsachen erregen natürlicher Weise und mit Recht das Gemüth. Es ist wahr, die Beziehungen des Lebens zu den Lebensbedingungen, das Anpassen der Mittel für ihren Zweck, was überall in der Natur hervortritt, erregt in höchstem Grade das Interesse des Forschers. Aber wenn man es mit Naturerscheinungen zu thun hat, müssen die Gefühle sorgsam bewacht werden. Sie führen uns oft dahin, unbewusst die Grenzen des Thatsächlichen zu überschreiten. So habe ich auf diese wunderbare Eigenschaft des Wassers anspielen hören als auf einen unwiderlegbaren Beweis planmässiger Absicht, die einzig in ihrer Art uns auf die vollkommenste Güte schliessen liesse. „Warum," hält man uns entgegen, „sollte dieser Fall mit dem Wasser vereinzelt dastehen, wenn nicht zu dem Zweck, die Natur gegen sich selbst zu schützen?" Die Thatsache jedoch ist, dass der Fall als kein vereinzelter dasteht. Sie sehen diese eiserne Flasche vom Hals bis zum Boden gesprungen; ich breche sie mit dem Hammer auseinander, und Sie sehen einen Kern von Metall darin. Es ist das Metall Wismuth, welches in geschmolzenem Zustande in diese Flasche gegossen wurde, worauf die Flasche gerade wie bei dem Experimente mit dem Wasser durch eine Schraube geschlossen ward. Das Metall kühlte sich ab, wurde fest, dehnte sich aus, und die Kraft der Ausdehnung reichte

hin, die Flasche zu sprengen. Hier sind nun keine Fische darin, die gerettet werden müssten, und doch verhält sich das geschmolzene Wismuth gerade wie das Wasser. Ein für alle Mal wollte ich sagen, dass der Naturforscher als solcher nichts mit Zwecken und Absichten zu thun hat. Sein Beruf ist zu fragen, was die Natur ist, nicht, warum sie es ist; obwohl er, wie Andere und selbst mehr wie Andere, zu Zeiten von Bewunderung hingerissen sein muss über die Geheimnisse, zwischen denen er lebt, und zu deren Lösung seine Studien ihm keinen Schlüssel bieten.

103. Wir müssen nun zu der Ausdehnung fester Körper übergehen, und ich will sie in folgender Weise anschaulich machen: Hier sind zwei hölzerne Pfosten *A* und *B* (Fig. 25), an welche Messingplatten *p p'* angenietet sind. In der Hand halte ich zwei Stangen von

Fig. 25.



gleicher Länge, die eine von Messing, die andere von Eisen, die, wie Sie sehen, nicht lang genug sind, um von

einem Pfosten zum anderen zu reichen. Ich will sie durch zwei kleine Holzvorsprünge, die an den Pfosten bei *p* und *p'* angebracht sind, stützen. Eine der Messingplatten *p* ist mit einem der Pole einer Volta'schen Batterie *D* in Verbindung gebracht, und von der anderen Platte geht ein Draht zu dem kleinen Instrument *C*, welches Sie dem Tische gegenüber sehen; dann führt wieder ein Draht von dem Instrument direct nach dem anderen Pole der Batterie zurück. Das Instrument hier vor uns besteht nur aus einer Vorrichtung, die eine Spirale von Platinadraht hält, welcher mit hellem, weissem Licht erglühen wird, sobald der elektrische Strom von *D* hindurch geht. Im gegenwärtigen Augenblick rührt die einzige Unterbrechung des leitenden Kreises von der unzureichenden Länge der Messing- und Eisenstangen her, welche zu kurz sind, um den Raum von einem Pfosten zum anderen zu überbrücken. Unter den Stangen ist eine Reihe Gasbrenner angebracht, die ich jetzt anzünden will. Die Stangen werden warm, die Metalle dehnen sich, und in wenigen Momenten werden sie sich ganz von einer Platte zur anderen hinüber erstrecken. Wenn dies eintritt, wird der Strom hindurchgehen, und die Thatsache, dass die Kluft überbrückt ist, wird sich aus dem plötzlichen Glühen des Platinadrahtes ergeben. Bis jetzt ist er noch lichtlos, und die Brücke also lückenhaft; aber nun leuchtet die Spirale auf und zeigt, dass eine der Stangen oder alle beide sich ausgedehnt haben, so dass sie von einem Pfosten zum anderen ganz hinüber reichen. Welche der Stangen ist es? Ich nehme die eiserne weg, aber der Platinadraht glüht fort. Ich lege das Eisen wieder hin und nehme das Messing weg; das Licht verschwindet. Es war also das Messing, welches den Zwischenraum überbrückte. So haben wir hier ein Beispiel nicht bloss von

der allgemeinen Thatsache der Ausdehnung, sondern auch von der Thatsache, dass verschiedene Körper sich in verschiedenen Graden ausdehnen.

104. Die Ausdehnung ist sowohl bei Messing als bei Eisen sehr gering, und es sind verschiedene Instrumente ersonnen, um dieselbe zu messen. Solche Instrumente tragen den allgemeinen Namen Pyrometer. Aber ich habe hier ein Mittel, die Wirkung zu vervielfältigen, welches bei weitem wirksamer ist als das gewöhnliche Pyrometer. Hier ist eine feste, aufrecht stehende Eisenstange von zwei Fuss Länge, und auf einen Spiegel, der mit dem oberen Ende der Stange verbunden ist, lasse ich einen Lichtstrahl aus der elektrischen Lampe fallen, der vom Spiegel oben an die Wand geworfen wird. Wenn die Stange sich verkürzt, wird sich der Spiegel nach einer Richtung drehen; wenn sie sich verlängert, wird er sich in entgegengesetzter Richtung drehen. Jede Bewegung des Spiegels, wie gering sie auch sein mag, wird durch diesen langen Zeiger von Licht vergrössert, der ausser seiner Länge noch den Vorzug hat, sich mit der doppelten Winkelgeschwindigkeit des Spiegels zu bewegen. Selbst der menschliche Hauch, gegen die massive Eisenstange gerichtet, bringt eine merkliche Bewegung des Strahles hervor; und wenn ich sie einen Augenblick durch die Flamme einer Spirituslampe erwärme, bewegt sich der leuchtende Zeiger nach unten, und der Lichtfleck auf der Wand durchläuft einen Raum von vollen 30 Fuss. Ich nehme die Spirituslampe fort und lasse die Stange abkühlen. Sie zieht sich zusammen, und der Lichtfleck steigt wieder an der Wand hinauf. Ich beschleunige die Zusammenziehung, indem ich etwas Alkohol gegen die Eisenstange spritze; das Licht bewegt sich schneller nach

oben, und nun steht es an der Stelle neben der Decke, wie am Anfang des Experiments *).

105. Ich habe gezeigt, dass verschiedene Körper verschiedene Ausdehnungsfähigkeit besitzen **), dass Messing zum Beispiel sich beim Erwärmen mehr ausdehnt als Eisen. Hier sind zwei Lineale, eins von Messing, das andere von Eisen, aneinander genietet, so dass sie bei dieser Temperatur ein gerades zusammengesetztes Lineal bilden. Aber wenn die Temperatur verändert wird, bleibt das Lineal nicht länger gerade. Wenn es erwärmt wird, biegt es sich nach einer Seite, wird es kalt, nach der anderen. Wird es warm, so dehnt sich das Messing stärker aus und bildet die convexe Seite des gekrümmten Lineals. Wird es kalt, so zieht sich das Messing stärker zusammen und bildet die concave Seite des Lineals. Thatsachen wie diese müssen natürlich bei solchen Constructionen, wo man Verkrümmungen vermeiden will, berücksichtigt werden. Der Kraft, mit welcher sich die Körper ausdehnen, ist durch keines der mechanischen Hülfsmittel, über die wir bisher gebieten können, zu widerstehen. Alle diese Molekularkräfte sind, obwohl sie innerhalb so sehr enger Räume wirken, von fast unendlicher Energie. Die zusammenziehende Kraft der Kälte ist von Ingenieuren zum Aufrichten liegender Wände angewandt worden. Wenn ein Körper zerbrechlich ist, kann das Erwärmen eines Theiles desselben durch die hervorgerufene Ausdehnung den anderen Theil so pressen oder zerren, dass Bruch erfolgt. Heisses Wasser zerbricht oft das Glas,

*) Der Apparat, mit dem das Experiment gemacht wurde, war zu einem durchaus anderen Zwecke bestimmt. Ich habe deshalb hier bloss sein Princip angegeben.

**) Die Ausdehnungscoëfficienten einiger bekannten Substanzen sind im Anhang dieses Kapitels gegeben.

in das es gegossen wird, weil dadurch eine plötzliche Ausdehnung der inneren Glasfläche erzeugt wird. Es kann ebenso gut durch die Zusammenziehung, die starke Kälte darin hervorruft, zerbrechen.

106. Ich habe hier ein paar Flaschen von sehr dickem Glas, die man, nachdem sie geblasen waren, schnell abkühlen liess. Die äusseren Schichten wurden zuerst kalt und hart; die inneren kühlten sich allmäliger ab, fanden sich aber beim Erkalten schon von einer harten Schale umgeben, gegen welche nun der gewaltige Zug ihrer Zusammenziehung gerichtet ist. Die Folge davon ist, dass die an der Oberfläche liegenden Theile dieser Flaschen in einem solchen Zustande von Spannung sind, dass die leiseste Schramme sie zerbrechen macht. Ich werfe ein Quarzkörnchen in diese Flasche. Das Auffallen dieses winzigen Bischens von hartem Quarze sprengt den Boden heraus. Hier habe ich auch die sogenannten Ruprechtstropfen oder holländischen Glasthränen, die man dadurch erhält, dass Glas zu Tropfen geschmolzen und plötzlich abgekühlt wird. Die äussere feste Schale hat die Spannung der inneren Zusammenziehung zu tragen; aber die Spannung ist so gleichmässig über die ganze Oberfläche vertheilt, dass kein Theil weicht. Wenn ich jedoch nur den dünnen Schwanz des Tropfens abbreche, zerfällt die ganze feste Masse augenblicklich zu Pulver. Ich tauche die Glasthräne in eine kleine Flasche voll Wasser und breche den Schwanz der Thräne ausserhalb der Flasche ab. Die Glasthräne zerspringt mit solcher Macht, dass der Stoss, durch das Wasser auf die Flasche übergeleitet, hinreicht, sie in Stücke zu zerbrechen.

107. Eine sehr seltsame Folge der Ausdehnung wurde vor einigen Jahren von dem Canonicus Mosely beobach-

tet und erklärt. Das Chor der Kathedrale von Bristol war mit Bleiplatten gedeckt; die Länge des Daches in Richtung des Giebels betrug 60 Fuss, die Länge in Richtung des Abfalls 19 Fuss 4 Zoll. Es war im Jahre 1851 gedeckt, und zwei Jahre später fand man die ganze Deckung um volle 18 Zoll hinuntergerutscht. Die Bewegung abwärts war von der Zeit an, wo das Blei gelegt worden, ganz langsam und stetig vor sich gegangen, und ein Versuch, den man machte, sie durch Nägel, die in die Dachsparren eingeschlagen wurden, aufzuhalten, war fehlgeschlagen; denn die Kraft, mit welcher das Blei hinabrutschte, war gross genug, die Nägel auszuziehen. Das Dach war nicht steil, und das Blei hätte dauernd darauf liegen können, ohne durch die Schwere hinunter zu gleiten. Was war dann aber die Ursache der Bewegung? Einfach dies: Das Blei war den wechselnden Temperaturen von Tag und Nacht ausgesetzt. Den Tag über wurde es durch die Sonnenwärme ausgedehnt. Hätte es auf einer horizontalen Fläche gelegen, würde es sich ringsum gleichmässig ausgedehnt haben; aber da es auf einer geneigten Fläche lag, dehnte es sich freier nach unten aus als nach oben. Wenn nun im Gegentheil das Blei durch die nächtliche Kälte wieder verkürzt wurde, zog sich wiederum sein oberer Rand leichter nach unten, als sein unterer Rand hinauf. Seine Bewegung war daher genau die eines gewöhnlichen Regenwurms; es schob sein unteres Ende während des Tages vor und zog sein oberes Ende die Nacht über nach, und auf diese Weise durchkroch es allmälig einen Raum von 18 Zoll in zwei Jahren. Jeder geringe Temperaturwechsel bei Tag und bei Nacht trug also zu dem Erfolge bei; wirklich fand Canonicus Mosely, dass die Hauptwirkung solchen täglichen Temperaturveränderungen zuzuschreiben sei.

108. Durch Wärme dehnen sich nicht bloss verschiedene Körper verschieden aus, sondern auch ein und derselbe Körper kann sich nach verschiedenen Richtungen verschieden ausdehnen. Bei Krystallen liegen die Atome gesetzmässig nebeneinander und nach gewissen Richtungen sind sie enger zusammengepackt als nach anderen. Es ist also wahrscheinlich, dass die Atome vieler krystallisirten Körper nach gewissen Richtungen hin freiere und breitere Schwingungen ausführen, als nach anderen. Bei Erwärmung würde eine ungleichmässige Ausdehnung nach verschiedenen Richtungen die Folge hiervon sein. Von dem Krystalle, den ich in der Hand halte (Kalkspath), hat Professor Mitscherlich bewiesen, dass er sich längs seiner krystallographischen Axe mehr ausdehnt als in jeder anderen Richtung. Ja, während sich der Krystall als Ganzes ausdehnt — das heisst, während sein Volumen durch Wärme vergrössert wird — zieht er sich sogar in der Richtung einer Linie, die rechtwinklig zu der krystallographischen Axe liegt, zusammen. Viele andere Krystalle dehnen sich ebenfalls in verschiedenen Richtungen verschieden aus; und ich zweifle nicht, dass die meisten organischen Gewebe bei einer Prüfung dieselbe Erscheinung zeigen würden.

109. Die Natur ist voll von Unregelmässigkeiten, die keine Theorie voraussagen kann, und die nur durch Versuche entdeckt werden können. Das Verhalten von einer grossen Anzahl von Körpern sollte uns zu dem Schluss berechtigen, dass Wärme immer Ausdehnung und Kälte immer Zusammenziehung bewirkt. Allein Wasser und Wismuth bilden Ausnahmen von dieser Regel.

Wenn ein Metall zusammengepresst wird, entwickelt sich Wärme; wird aber ein Metalldraht gespannt, ent-

wickelt sich Kälte. Joule und Andere haben über diesen Gegenstand gearbeitet und die oben aufgestellte Thatsache beinahe allgemein richtig gefunden.

110. Eine auffallende Ausnahme von dieser Regel (ich zweifle nicht, dass es noch viele andere giebt) ist schon seit vielen Jahren bekannt, und ich will diese Ausnahme nun durch ein Experiment anschaulich machen. Mein Assistent wird mir eine Tafel Kautschuk holen, die ich im anderen Zimmer aufbewahrt habe, um sie ganz kalt zu erhalten. Von dieser Tafel schneide ich einen drei Zoll langen, anderthalb Zoll breiten Streifen und berühre die freie Fläche meiner thermo-elektrischen Säule, die ich vorher auf den Rücken gelegt habe, mit diesem Streifen Kautschuk. Die Abweichung der Nadel zeigt, dass der Kautschuk kalt ist. Ich fasse nun die Enden des Streifens, dehne ihn plötzlich und drücke ihn so gedehnt an die Fläche der Säule. Die Nadel bewegt sich heftig und zeigt, dass der gespannte Kautschuk die Säule erwärmt hat.

111. Aber eine einzelne Abweichung von der Regel hat stets noch andere im Gefolge. In der physischen Welt, wie in der moralischen, stehen Thatsachen nie vereinzelt da. Dies auf unseren Kautschuk angewendet, ist seine Abweichung von der Regel nur eine aus einer Reihenfolge von Abweichungen. Viele seiner Forschungen machte Joule im Verein mit einem ausgezeichneten Naturforscher, Professor William Thomson, und als Letzterer diese Abweichung des Kautschuks von einer fast allgemeinen Regel bemerkte, vermuthete er sogleich, dass der gedehnte Kautschuk sich bei Erwärmung verkürzen würde. Der Versuch wurde von Joule gemacht, und die Verkürzung trat wirklich ein *). Dieses

*) Phil. Mag. 1857, vol. XIV, p. 227.

Fig. 26.



seltsame Experiment will ich, in passende Form gebracht, nun vor Ihnen ausführen.

112. Ich befestige an diesen Arm *aa* (Fig. 26) ein Stück Röhre von gewöhnlichem vulkanisirten Kautschuk, und ziehe es durch ein Gewicht *W* von 10 Pfund etwa dreimal so lang aus, als es anfänglich war. Hier ist ein Zeiger *ii*, bestehend aus einem Stück leichten Holzes, welches sich ungehindert um eine Axe bewegt und durch einen starken, geraden Strohhalm verlängert ist. An das Ende des Strohhalmes stecke ich ein lanzenformiges Papierstückchen, was sich über den in Grade abgetheilten Kreis auf diesem schwarzen Brette



hinbewegen kann. Der Zeiger wird nun durch einen am Gewicht angebrachten Vorsprung niedergedrückt; wenn aber das Gewicht durch die Zusammenziehung des Kautschuks gehoben werden sollte, wird der Zeiger folgen, da er durch eine Feder *ss*, die auf den kurzen Arm des Hebels wirkt, nachgezogen wird. Die Kautschukröhre geht, wie Sie sehen, durch einen Schornstein von Eisenblech *C*, durch welchen ich nun einen Strom warmer Luft, von dieser Lampe *L* ausgehend, steigen lassen will. Sie sehen die Wirkung: der Zeiger geht hinauf und zeigt, dass der Kautschuk sich zusammenzieht, und wenn wir die Zuführung von Wärme noch etwa eine Minute fortsetzen, wird die Spitze meines Zeigers einen Bogen von vollen drei Fuss beschreiben. Ich nehme die Lampe fort, und in dem Maasse, als der Kautschuk zu seiner früheren Temperatur zurückkehrt, streckt er sich in die Länge; der Zeiger bewegt sich abwärts, und nun steht er sogar unterhalb des Punktes, den er zuerst eingenommen hatte.

Anhang zum dritten Kapitel.

Weitere Anmerkungen über die Ausdehnung.

Es liegt jetzt nicht in meiner Absicht, im Detail auf alle Erscheinungen einzugehen, die durch Ausdehnung vermittelst Wärmezufuhr hervorgerufen werden; aber im Interesse meiner jüngeren Leser will ich dieses Kapitel durch einige hinzugesetzte Bemerkungen vervollständigen.

Der Coëfficient der linearen, flächenhaften oder kubischen Ausdehnung ist der Bruchtheil, um den eines Körpers Länge, Flächeninhalt oder Volumen sich ausdehnt, wenn der Körper um einen Grad erwärmt wird.

Angenommen, jede der Seiten einer quadratischen Metallplatte, deren Länge 1 ist, dehne sich bei Erwärmung um einen Grad um die Quantität a, so ist die Seite des neuen Quadrats $1 + a$, und sein Flächeninhalt

$$1 + 2a + a^2.$$

Bei Ausdehnung durch Wärme ist die Quantität a so klein, dass ihr Quadrat fast unmerkbar wird, denn das Quadrat eines kleinen Bruchtheiles ist natürlich noch viel geringer als der Bruch selbst. Daher können wir ohne merkliche Irrung das a^2 oben streichen und haben nun den Flächeninhalt des neuen Quadrates als

$$1 + 2a.$$

$2a$ ist also der Coëfficient der Flächenausdehnung. Hieraus schliessen wir, dass wir den Flächencoëfficienten erhalten, wenn wir den linearen Coëfficienten mit 2 multipliciren.

Angenommen, wir hätten statt eines Quadrats einen Würfel, dessen eine Seite = 1 sei und sich beim Erwärmen des Würfels um einen Grad zu $1 + a$ ausdehne. Dann würde das Volumen des ausgedehnten Würfels sein:

$$1 + 3a + 3a^2 + a^3.$$

Hier kann wieder wie im früheren Falle das Quadrat von a und noch vielmehr der Kubus von a ihrer ausserordentlichen Kleinheit wegen weggelassen werden. Wir haben dann das Volumen des ausgedehnten Würfels

$$= 1 + 3a,$$

das heisst, der Coëfficient der kubischen Ausdehnung wird gefunden, wenn man den Coëfficienten der linearen verdreifacht.

Folgende Tabelle enthält die Ausdehnungscoëfficienten einer Anzahl bekannter Substanzen:

Kupfer . . .	0,000017	0,000051	0,000051
Blei	0,000029	0,000087	0,000089
Zinn	0,000023	0,000069	0,000069
Eisen	0,0000123	0,000037	0,000037
Zink	0,0000294	0,000088	0,000089
Glas	0,000008	0,000024	0,000024.

Die zweite Columne hier giebt uns den Coëfficienten der Linearausdehnung für 1° C.; die dritte Columne enthält diesen Coëfficienten verdreifacht, also die kubische Ausdehnung der Substanz, und die vierte Columne giebt die kubische Ausdehnung derselben Substanz, wie sie von Prof. Kopp direct bestimmt ist *). Man sieht, dass Kopp's Coëfficienten fast ganz genau mit denen übereinstimmen, die durch Verdreifachung der linearen Coëfficienten erlangt sind.

Der Linearcoëfficient des Glases für 1° C. beträgt

0,0000080,

der des Platina

0,0000088.

Danach dehnen sich Glas und Platina fast gleich aus. Dies ist für Chemiker von der grössten Bedeutung, da sie sich oft genöthigt finden, Platinadrähte in ihre Glasröhren einzuschmelzen. Wären die Coëfficienten verschieden, so würde

*) Phil. Mag. 1852, vol. III, p. 268.

das Glas während der Zusammenziehung nothwendiger Weise zerspringen.

Das Thermometer.

Wasser verdankt seine Flüssigkeit der Wärmebewegung; wenn diese Bewegung genügend sinkt, tritt, wie wir gesehen haben, Krystallisation ein. Die Temperatur, die bei der Krystallisation eintritt, ist vollkommen constant, wenn das Wasser unter dem gleichen Drucke bleibt. Z. B. krystallisirt in allen Klimaten das Wasser im Niveau des Meeres bei einer Temperatur von 32° F. oder 0° C. Die Temperatur, bei welcher Verdichtung aus dem Dampfzustande eintritt, ist ebenfalls constant, so lange der Druck derselbe bleibt. Das Schmelzen des Eises und das Gefrieren des Wassers berühren sich, wenn ich so sagen darf, bei 32° F.; die Condensation des Dampfes und das Sieden des Wassers berühren sich bei 212° F. oder 100° C.; 32° ist also der Gefrierpunkt des Wassers und der Schmelzpunkt des Eises. 212° F. ist der Condensationspunkt des Dampfes und der Siedepunkt des Wassers. Beide sind unveränderlich, so lange der Druck gleich bleibt.

Hier haben wir also zwei unschätzbare feste Punkte für Temperaturmessungen, die auch durch die ganze Welt als solche gebräuchlich sind. Das Quecksilberthermometer besteht aus einer Kugel und einer haarfeinen Röhre, die überall denselben Durchmesser haben sollte. Die Kugel und ein Theil der Röhre werden mit Quecksilber gefüllt. Beide werden darauf in schmelzendes Eis getaucht, das Quecksilber zieht sich zusammen, die Säule sinkt und steht endlich still. Der Punkt, auf welchem sie stehen bleibt, mag bezeichnet werden: es ist der Gefrierpunkt des Thermometers. Nun mag das Instrument entfernt und in siedendes Wasser gesteckt werden; das Quecksilber dehnt sich aus, die Säule steigt und erreicht endlich eine Höhe, bei welcher sie stehen bleibt. Man merke diesen Punkt an, es ist der Siedepunkt des Thermometers. Der Raum zwischen dem Gefrierpunkte und dem Siedepunkte ist von Réaumur in 80, von Fahrenheit in 180 und von Celsius in 100 gleiche Theile, genannt Grade,

eingetheilt. Das Thermometer von Celsius wird auch das Centesimalthermometer genannt.

Sowohl Réaumur als Celsius nennen den Gefrierpunkt 0°; Fahrenheit nennt ihn 32°, weil er von einem Nullpunkt ausgeht, den er unrichtig als die grösste irdische Kälte annahm. Fahrenheit's Siedepunkt ist daher 212°. Réaumur's Siedepunkt ist 80°, während der Siedepunkt von Celsius 100° ist.

Da die Länge der Grade in dem Verhältniss von 80 : 100 : 180 oder von 4 : 5 : 9 steht, kann nichts leichter sein, als Grade der einen Art in die der anderen zu verwandeln. Wenn Sie Fahrenheit in Celsius zu verwandeln wünschen, multipliciren Sie mit 5 und dividiren durch 9. Wenn Sie Celsius zu Fahrenheit machen wollen, multipliciren Sie mit 9 und dividiren dann durch 5. Danach sind 20° C. gleich 36° F., aber wenn wir wissen wollten, welche Temperatur auf Fahrenheit's Thermometer 20° C. gleich kommt, müssten wir 32° den 36° zuzählen und es wird daher die Temperatur 20° nach Celsius gleich der Temperatur 68° nach Fahrenheit sein.

Auszüge aus Sir H. Davy's erster wissenschaftlicher Abhandlung unter dem Titel: „Ueber Wärme, Licht und die Verbindungen des Lichtes*).

Die besonderen Aggregatzustände der Körper — der feste, flüssige und luftförmige Zustand — hängen (der Meinung der Caloriker gemäss) von der Menge des Wärmefluidums ab, welches in ihre Zusammensetzung eingeht. Diese Substanz, die zwischen ihre Atome eindringt, sie von einander trennt und ihre Berührung verhindert, wird von ihnen als die Urheberin der Abstossung betrachtet.

Andere Gelehrte, die von den Beweisen, welche zu Gunsten der Existenz dieses Fluidums vorgebracht wurden, unbefriedigt blieben und die Bemerkung machten, dass Wärme

*) Sir Humphrey Davy's Werke vol. II.

durch Reibung und Stoss erzeugt werde, haben sie für Bewegung gehalten. In der Ansicht, dass die Entdeckung der wahren Ursache der Repulsivkraft für die Wissenschaft höchst wichtig sei, habe ich versucht, diesen Theil der Chemie durch Experimente zu erforschen; aus diesen Experimenten (von denen ich sofort eine Beschreibung zu geben beabsichtige) schliesse ich, dass Wärme oder die Repulsionskraft nicht Materie ist.

Die Erscheinungen der Repulsionskraft sind nicht von einem besonderen elastischen Fluidum abhängig, oder Wärmestoff existirt nicht.

Ohne vorläufig die Wirkungen der Repulsionskraft auf Körper in Betracht zu ziehen oder aus diesen Wirkungen beweisen zu wollen, dass sie Bewegung sei, werde ich durch Experimente zu zeigen suchen, dass sie nicht Materie ist, und zu diesem Zwecke die Methode anwenden, die von den Mathematikern reductio ad absurdum genannt wird. Lassen Sie uns vorerst annehmen, dass die Erhöhung der Temperatur, welche durch Reibung und Stoss hervorgebracht wird, aus einer Verminderung der Wärmecapacität der betreffenden Körper entspringt. In diesem Falle muss der Vorgang offenbar eine Veränderung in den Körpern bewirken, wodurch ihre Wärmecapacität vermindert und ihre Temperatur erhöht wird.

Experiment: Ich bildete mir zwei Parallelepipeda von Eis *) von der Temperatur — 1⁰,7 C., 6 Zoll lang, 2 Zoll breit und ²/₃ Zoll dick und befestigte sie durch Drähte an zwei Eisenstangen. Durch einen besonderen Mechanismus wurden ihre Flächen in Berührung mit einander gebracht und einige Minuten lang in fortgesetzte und äusserst heftige Reibung versetzt. Sie verwandelten sich fast ganz in Wasser, welches Wasser gesammelt und dessen Temperatur gleich + 1⁰,7 C. gefunden wurde, nachdem es schon einige Minuten in einer kälteren Atmosphäre gestanden hatte. Die Schmelzung fand nur an

*) Das Resultat dieses Experimentes ist das gleiche, wenn Wachs, Talg, Harz oder irgend eine andere bei niederer Temperatur schmelzbare Substanz benutzt wird. Selbst Eisen kann durch Zusammenstoss geschmolzen werden.

der Berührungsfläche der beiden Eisstücke statt und kein anderer Körper als Eis nahm an der Reibung Theil.

Aus diesem Experimente ist ersichtlich, dass Eis durch Reibung in Wasser verwandelt wird, und gemäss der genannten Voraussetzung sollte seine Wärmecapacität verringert werden; aber es ist eine wohlbekannte Thatsache, dass die Wärmecapacität des Wassers viel grösser ist als die des Eises, und dass dem Eise eine Quantität freier Wärme zugeführt werden muss, ehe es zu Wasser werden kann. Folglich wird durch Reibung die Wärmecapacität der Körper nicht vermindert.

Ferner ist aus diesem Experimente ersichtlich, dass die Temperatur bei der Reibung nicht in Folge einer chemischen Wirkung des Sauerstoffgases erhöht wurde, denn Eis hat keine Anziehung für Sauerstoff. Da nun die der Reibung folgende Temperaturerhöhung weder aus einer Verminderung der Wärmecapacität noch aus der Oxydirung der thätigen Körper herrühren kann, bleibt nur die Annahme, dass sie aus einer Quantität freier Wärme entspringt, die ihnen neu zugeführt wird, und zwar den benachbarten Körpern entnommen sein muss; folglich müsste Reibung in den Körpern eine Veränderung hervorbringen, die sie befähigt, aus den mit ihnen in Berührung kommenden Körpern Wärme herbeizuziehen.

Experiment: Ich verschaffte mir ein Uhrwerk, welches so construirt war, dass es unter der entleerten Glocke einer Luftpumpe in Bewegung gesetzt werden konnte; eines der äusseren Maschinenräder wurde in Berührung mit einer dünnen Metallplatte gebracht *). Ein beträchtlicher Grad fühlbarer Wärme wurde durch die Reibung zwischen Rad und Platte erzeugt, als die Maschine zu arbeiten begann, ohne dass sie von Körpern isolirt war, die ihr hätten Wärme mittheilen können. Ich nahm nun ein kleines Stück Eis **) und machte

*) Aus dem Folgenden ergiebt sich, dass diese Metallplatte mit Wachs in Berührung war. Anmerkung des Uebersetzers.

**) Die Temperatur des Eises und der umgebenden Atmosphäre war am Anfang des Experimentes 32° F., die der Maschine ebenfalls 32°. Am Schluss des Experimentes war die Temperatur des kältesten Theiles der Maschine beinahe 33°, die des Eises und der umgebenden Luft dieselbe wie zu Anfang des Experimentes, so dass die Wärme, die durch Reibung

längs des oberen Randes desselben einen kleinen Kanal, der mit Wasser gefüllt wurde. Die Maschine wurde auf das Eis gestellt, aber so, dass sie mit dem Wasser nicht in Berührung kam. So angeordnet kam das Ganze unter die Glocke (die vorher mit Kohlensäure gefüllt worden war). Zugleich wurde eine Quantität Potasche (d. h. kaustisches Kali) unter die Glocke gebracht und dieselbe nun ausgepumpt. Durch das Auspumpen und durch die Anziehung, welche die Potasche auf das kohlensaure Gas ausübte, wurde ein meiner Meinung nach fast vollkommen luftleerer Raum hergestellt. Die Maschine wurde nun in Arbeit gesetzt; das Wachs schmolz schnell und bewies die erfolgte Steigerung der Temperatur.

So wurde also Wärmestoff durch Reibung gesammelt, welcher Wärmestoff, gemäss obiger Voraussetzung, von den Körpern mitgetheilt wurde, die in Berührung mit der Maschine standen. Bei diesem Experiment war der einzige mit der Maschine in Berührung stehende Körper Eis. Hätte dies Eis Wärmestoff abgegeben, so müsste das Wasser an seiner oberen Seite gefroren sein. Das Wasser war nicht gefroren, folglich hatte das Eis keinen Wärmestoff abgegeben. Der Wärmestoff konnte auch nicht von den mit dem Eis in Berührung stehenden Körpern kommen, denn er hätte durch das Eis dringen müssen, um zur Maschine zu gelangen, und eine Zunahme von Wärmestoff im Eise würde es zu Wasser gemacht haben. Wärme, die durch Reibung erzeugt ist, kann also nicht von den benachbarten Körpern gesammelt werden, und das erste Experiment bewies, dass die Temperaturerhöhung in Folge von Reibung auch nicht aus verminderter Wärmecapacität oder aus Oxydirung entspringe. Aber wenn wir sie als Materie betrachten, muss sie auf eine dieser Arten entstanden sein. Da sie nun (wie durch diese Experimente gezeigt ist) auf keine dieser Arten entstanden ist, kann sie nicht für Materie angesehen werden. Daher ist durch diese Versuche bewiesen worden, dass Caloricum oder Wärmestoff nicht existirt.

---

in den verschiedenen Theilen der Maschine erzeugt worden war, hinreichte, die Temperatur von beinahe $1/2$ Pfund Metall um mindestens einen Grad zu erhöhen und 18 Gran Wachs (die gebrauchte Quantität) flüssig zu machen.

Feste Körper dehnen sich durch lange und heftige Reibung aus und berühren, wenn ihre Temperatur höher ist als die unseres Körpers, das Gefühlsorgan mit der eigenen Empfindung, die unter dem gewöhnlichen Namen von Wärme bekannt ist.

Da sich die Körper durch Wärme ausdehnen, ist es klar, dass ihre Atome sich von einander bewegen oder trennen müssen.

Nun muss eine Bewegung oder Schwingung der Körperatome nothwendig durch Reibung und Stoss erzeugt werden. Daher dürfen wir mit allem Grunde schliessen, dass diese Bewegung oder Schwingung Wärme oder die Repulsionskraft ist.

Wärme oder die Kraft, welche die unmittelbare Berührung der Körperatome verhindert und die Veranlassung unserer eigenthümlichen Empfindungen von Wärme und Kälte ist, mag demnach als eine besondere, wahrscheinlich schwingende Bewegung der Körperatome definirt werden, welche dieselben zu trennen strebt. Sie könnte passend die repulsive Bewegung genannt werden. Da es also eine abstossende Kraft giebt, mag man sich die Körperatome als von zwei entgegengesetzten Kräften bestimmt denken: von der Kraft, die sie einander nähert (welche wir des bequemeren Ausdruckes wegen Anziehung nennen wollen) und von der abstossenden Kraft. Die erstere dieser Kräfte ist die vereinte Wirkung der Anziehung der Cohäsion, vermöge welcher die Atome streben, in Berührung mit einander zu kommen, der Anziehung der Schwerkraft, vermöge welcher sie den Hang haben, sich grossen, zusammenhängenden Körpermassen zu nähern, und des Druckes, welchen die darüber liegenden Körper durch ihre Schwere auf sie ausüben.

Die zweite der Kräfte ist die Folge eines besonderen bewegenden oder schwingenden Anstosses, der ihnen gegeben ist und sie weiter auseinander zu treiben strebt, und der durch Reibung oder Stoss erzeugt oder vielmehr gesteigert werden kann. Die Wirkung, welche die Anziehung der Cohäsion als die Hauptursache der Annäherung auf die Körperatome ausübt, ist genau der Wirkung gleich, welche die Anziehung der Schwerkraft auf die grossen Körpermassen des

Universums ausübt, und die abstossende Kraft gleicht der Flugkraft der Planeten.

In seiner „Chemical Philosophy" pp. 94 und 95 drückt sich Davy folgendermaassen aus: „Aus Rumford's Experimenten ist ersichtlich, dass durch mässige Reibung dasselbe Stück Metall beliebig lange warm erhalten werden kann, so dass, wenn die Wärme aus ihm herausgepresst würde, die Quantität unerschöpflich sein müsste. Wenn ein Körper abgekühlt wird, nimmt er einen kleineren Raum ein als vorher; es ist daher offenbar, dass seine Theilchen sich gegenseitig genähert haben müssen. Wenn der Körper durch Wärme ausgedehnt wird, ist es ebenso offenbar, dass seine Theilchen sich von einander getrennt haben müssen. Die unmittelbare Ursache der Wärmeerscheinungen ist also Bewegung, und die Gesetze, nach welchen sie sich mittheilt, sind genau dieselben, nach denen sich Bewegung überträgt.

Da alle Substanzen durch Abkühlung gezwungen werden können, einen kleineren Raum einzunehmen, müssen offenbar die Körpertheilchen Raum zwischen sich haben, und da jeder Körper die Kraft der Ausdehnung einem anderen, dessen Temperatur niedriger ist, mittheilen, d. h. seinen Theilchen eine ausdehnende Bewegung verleihen kann, dürfen wir mit grosser Wahrscheinlichkeit schliessen, dass seine eigenen Theilchen Bewegung besassen; aber da keine Veränderung in der Lage seiner Theile eintritt, solange die Temperatur gleich bleibt, muss die Bewegung, wenn eine solche da ist, entweder eine schwingende oder wellenförmige Bewegung oder eine Bewegung der Theilchen um ihre Axen oder eine Bewegung der Theilchen um einander sein.

Es scheint möglich, über alle Erscheinungen der Wärme Rechenschaft zu geben, wenn man annimmt, dass in festen Körpern die Atome in einem dauernden Zustande schwingender Bewegung sind, und die Atome der wärmsten Körper sich mit der grössten Schnelligkeit und durch die weitesten Räume bewegen; dass bei Flüssigkeiten und elastischen Flüssigkeiten die Atome ausser der schwingenden Bewegung, welche bei den Letzteren als die stärkste angesehen werden muss, noch eine Bewegung um ihre eigenen Axen haben, deren Schnel-

ligkeit verschieden, bei den elastischen Flüssigkeiten am grössten ist, und dass bei ätherartigen Substanzen die Atome sich um ihre eigenen Axen bewegen und sich von einander trennen, indem sie in geraden Linien durch den Raum fliegen. Die Temperatur mag man als abhängig von der Schnelligkeit der Schwingungen denken, Steigerung der Wärmecapacität als herrührend von der Vergrösserung des Raumes, in dem sich die Bewegung vollzieht, und die Erniedrigung der Temperatur während der Verwandlung von festen in flüssige und gasartige Körper kann durch die Annahme erklärt werden, dass in dem Augenblick, wo der Körper flüssig oder gasförmig wird, eine Abnahme schwingender Bewegung entsteht, weil sich die Atome nun auch um ihre Axen drehen müssen, oder dass Schnelligkeit der Schwingungen verloren geht, weil sich die Atome dafür nun durch den Raum bewegen.

Viertes Kapitel.

Das Trevelyan-Instrument. — Gore's umrollende Kugeln. — Einfluss des Druckes auf den Schmelzpunkt. — Flüssigwerden und Spaltung des Eises. — Structur des Eises durch strahlende Wärme sichtbar gemacht. — Flüssige Blumen und ihr Mittelpunkt. — Mechanische Eigenschaften des von Luft befreiten Wassers. — Der Siedepunkt der Flüssigkeiten; beeinflussende Umstände. — Die Geyser in Island.

Anhang: Notiz über das Trevelyan-Instrument. Physikalische Eigenschaften des Eises.

113. Ehe wir definitiv das Thema von der Expansion verlassen, möchte ich Ihnen einen Versuch zeigen, der in angenehmer und merkwürdiger Weise die Verwandlung von Wärme in mechanische Kraft darthut. Die Thatsache, welche ich Ihnen heute vorzuführen wünsche, ist zuerst in einem sächsischen Schmelzwerke von einem Herrn, Namens Schwartz, beobachtet worden. Eine Portion Silber, welche in einem Löffel geschmolzen worden war, sollte fest werden, und um den Process der Abkühlung zu beschleunigen, wurde es auf einen Amboss ausgegossen. Einige Zeit darauf hörte man einen eigenthümlich summenden Laut in dem Raume, und fand schliesslich, dass derselbe von dem heissen Silber ausging, welches zitternd auf dem Amboss lag. Viele Jahre später benutzte Herr Arthur Trevelyan zufällig einen

heissen Löthkolben, und legte denselben ebenso zufällig auf ein Stück Blei. Bald darauf wurde seine Aufmerksamkeit durch einen ganz eigenthümlichen Ton erregt, der sich, nach einigem Suchen, als von dem Löthkolben ausgehend erwies. Wie das Silber von Schwartz, so war der Löthkolben jetzt im Zittern begriffen. Herr Trevelyan hat diese Entdeckung zum Gegenstande einer sehr interessanten Untersuchung gemacht. Er bestimmte die beste Form, welche man dem „Wipper“ geben muss, wie man die vibrirende Masse jetzt nennt, und dieses Instrument ist jetzt in ganz Europa als das „Trevelyan-Instrument“ bekannt. Seit jener Zeit haben sich J. D. Forbes, Dr. Seebeck, Faraday, Sondhaus und ich mit diesem Gegenstande beschäftigt; Trevelyan und Seebeck verdanken wir jedoch den grössten Theil von unseren Kenntnissen über diesen Punkt.

114. Hier ist ein Wipper aus Messing. Seine Länge AC (Fig. 27) beträgt 5 Zoll; seine Breite 1,5 Zoll; und

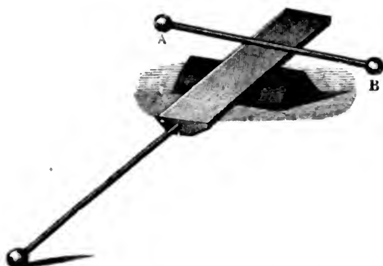
Fig. 27.



die Länge des Griffes, welcher in dem Knopf F endigt, beträgt 10 Zoll. Eine Rinne läuft an der Rückseite des Wippers entlang; der Querschnitt des Wippers mit der Rinne ist bei M gegeben. Ich erhitze den Wipper etwas über den Siedepunkt des Wassers und lege denselben auf einen Bleiklotz, während der Knopf auf dem Tische ruht. Sie hören ein schnell wiederholtes, heftiges Pochen; allein Sie können die Schwingungen des Wippers nicht sehen, welche diese Schläge verursachen. Deshalb lege ich die-

sen Messingstab, *A B* (Fig. 28), welcher zwei Kugeln an seinen Enden trägt, darauf. Die Oscillationen werden

Fig. 28.



dadurch viel langsamer, und Sie können leicht mit dem Auge der pendelartigen Bewegung des Stabes und der Kugeln folgen. Diese Bewegung wird so lange fortdauern, als der Wipper fähig ist, dem Träger, worauf er ruht, genügende Wärme mitzutheilen. Wir haben auf diese Weise die Schwingungen langsam gemacht; allein ich kann dieselben auch beschleunigen dadurch, dass ich einen Wipper mit einem breiteren Einschnitte benutze. Die Seiten dieses Wippers ragen nicht so weit über, als die des ersten; der zweite ist also gleichsam ein kürzeres Pendel und wird deshalb rascher schwingen. Auf das Blei gelegt, beginnt er eine unregelmässige und nicht unbedingt angenehme Musik. Noch ist er unruhig, manchmal scheint er zu knurren oder auch zu zanken, als sei er ergrimmt über die ihm widerfahrende Behandlung. Nun wird der Laut weich und erfüllt das Zimmer mit einem hellen starken Ton. Die Schläge sind periodisch und regelmässig geworden, und haben sich aneinander geschlossen, so dass Musik daraus entsteht. Hier ist ein dritter, mit

noch breiterem Einschnitt versehener Wipper, vermittelst dessen ich einen noch höheren Ton erzielen kann. Sie werden ja Alle wissen, dass die Höhe eines Tones immer mit der Zahl der Schwingungen zunimmt; dieser breit eingeschnittene Wipper schwingt rascher und bringt deshalb einen höheren Ton hervor. Wenn ich jetzt einen Lichtstrahl auf den Wipper hinleite, erhalte ich einen besseren Zeiger, als es der Stab mit den Kugeln war. Dieser Zeiger hat kein Gewicht, und verursacht deshalb keine Verzögerung in der Bewegung des Wippers. An den letzteren habe ich vermittelst einer einzigen Schraube eine kleine Scheibe aus polirtem Silber befestigt, worauf jetzt der Schein der elektrischen Lampe fällt und auf den Schirm hier reflectirt wird. Wenn der Wipper vibrirt, so vibrirt der Strahl mit ihm, allein mit der doppelten Winkelgeschwindigkeit, und hier sehen Sie den auf dem Leinwandschirme zitternden Lichtfleck.

115. Woher rühren nun diese eigenthümlichen Schwingungen und Töne? Sie sind einfach der plötzlichen Expansion, welche die Wärme in dem Körper hervorbringt, worauf der Wipper ruht, zuzuschreiben. Sobald der heisse Wipper mit seinem bleiernen Träger in Berührung kommt, entsteht sogleich eine warzenartige Erhöhung in dem letzteren, welche von der am Berührungspunkte mitgetheilten Wärme herrührt. Der Wipper neigt sich nach der anderen Seite, so dass er an einer anderen Stelle das Blei berührt. Dort entsteht eine neue Erhöhung und der Wipper schwankt zurück. Gesetzt *AB* (Fig. 29) sei die Oberfläche des Bleies und *R* der Querschnitt des heissen Wippers; so wird sich die Erhöhung bei *R* bilden, falls der Wipper nach rechts geneigt ist, und bei *L*, falls er nach links überneigt; und wird jedes Mal sofort wieder verschwinden, wenn die Berührung mit

dem heissen Wipper aufhört. Die Folge davon ist, dass letzterer so lange hin und her gestossen, vermittelst der raschen Reihenfolge seiner Schläge auf das Blei einen

Fig. 29.

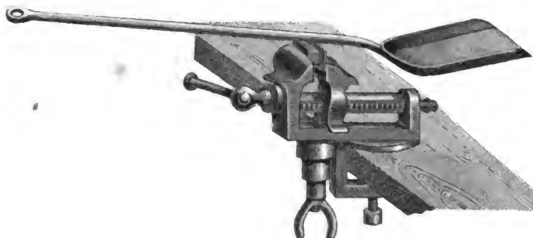


musikalischen Ton hervorbringen wird, bis seine Temperatur genügend gesunken ist.

116. Ich habe hier in einen Schraubstock zwei Bleiplättchen eingespannt, deren Kanten frei stehen und ungefähr einen halben Zoll von einander entfernt sind. Ich balancire eine lange erhitzte Messingstange quer über die Kanten dieser Bleiplättchen: Zuerst ruht die Stange auf einer Kante, welche sich am Berührungspunkte ausdehnt, und sie emporstösst; sie fällt alsdann auf die andere Kante, welche sie auch zurückstösst; sie schwingt auf diese Weise fort und fort, und wird so lange weiter schwingen, als die Stange genügende Wärme besitzt, um sie dem Blei mitzutheilen. Diese Kohlenschaufel wird sich dazu eben so gut eignen, als die besonders vorbereitete Messingstange. Ich balancire diese erhitzte Kohlenschaufel auf diesen bleiernen Kanten, und sie schwingt eben so gut hin und her, als die Stange (Fig. 30 a. f. S.). Ich setze noch hinzu, dass man vermittelst eines Feuerhakens oder einer Kohlenschaufel eben so sanfte und musikalische Klänge als die zuvor gehörten, hervorbringen kann, vorausgesetzt, dass man sie in der erforderlichen Weise auf einen Bleiklotz legt, und den Griff so unterstützt, dass Reibung vermieden wird. Ein erwärmter Reif, welchen man auf eine Bleiplatte legt, kann in Schwingung versetzt und

zum Tönen gebracht werden; dasselbe geschieht mit einer heissen Kupfer- oder Silbermünze *).

Fig. 30.



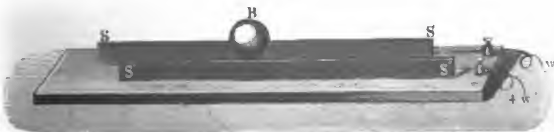
117. Dieser Versuch ist interessant, wenn man ihn im Hinblick auf den Zusammenhang der Naturkräfte betrachtet. Die Atome der Körper müssen zwar als nahezu unendlich klein, hingegen aber auch als nahezu unendlich zahlreich gedacht werden. Wenn auch die Schwingungsweite jedes einzelnen oscillirenden Atomes durch Zuleitung von Wärme in einer nicht wahrnehmbaren Weise vermehrt wird, so wird doch diese Wirkung, wenn sie sich über eine fast unendliche Anzahl von Atomen summirt, sehr bemerklich. Eine solche Summirung, welche fast in einem Augenblick zu Stande kommt, bringt in unserem Falle die kleine Erhöhung hervor und schaukelt die schwere Masse des Wippers. Wir haben hier die directe Verwandlung von Wärme in gewöhnliche mechanische Bewegung. Allein der schaukelnde Wipper fällt durch die Schwerkraft wieder herab, und ersetzt bei seinem Zusammenstoss mit dem Bleiklotz diesem fast genau

*) Nähere Mittheilungen hierüber sind im Anhang zu diesem Kapitel zu suchen.

dieselbe Wärmemenge, welche zu seiner Hebung verbraucht wurde. Wir haben hier also die directe Verwandlung von gewöhnlicher Schwerkraft in Wärme. Ausserdem ist der Wipper von einem Medium umgeben, welches auch in Bewegung versetzt werden kann. Die Luft in diesem Zimmer wiegt einige Tonnen, und jedes einzelne Lufttheilchen wird durch den Wipper erschüttert; gerade wie jedes Trommelfell und jeder Gehörnerv hier dadurch erschüttert wird. So haben wir hier also einen Theil der Wärme in Schall verwandelt. Und schliesslich wird jede Tonschwingung, welche die Luft dieses Zimmers durcheilt und an den Wänden, den Sitzen und Kissen dieses Raumes vergeht, wieder in diejenige Form gebracht, womit der Kreislauf dieser Vorgänge begann — nämlich in die Form von Wärme.

118. Wir kommen nun zu einem anderen merkwürdigen Vorgang, dessen Kenntniss wir Herrn Georg Gore verdanken, und welcher auf ähnliche Weise erklärt werden kann. Sie sehen diese doppelte Schienenreihe. Zwei Kupferstreifen *s s* und *s' s'* (Fig. 31) sind aufrecht und auf

Fig. 31.



ungefähr einen halben Zoll Entfernung von einander befestigt. Ich lege diese hohle, aus dünnem Metall bestehende Kugel, *B*, auf die Schienen; dieselbe bewegt sich, wenn ich sie anstosse; ohne äusseren Anstoss bleibt sie ruhig liegen. Ich verbinde die beiden Schienen ver-

mittelst der Drähte *w w'* mit den beiden Polen einer Volta'schen Batterie. Es läuft nun ein Strom durch die eine Schiene zu der Kugel und von der Kugel zu der anderen Schiene, und schliesslich zu der Batterie zurück. Dieser Strom wird jedoch bei dem Uebergang von der Schiene nach der Kugel und von der Kugel nach der anderen Schiene auf Widerstand stossen, und überall, wo ein Strom Widerstand findet, wird Wärme erzeugt. Es wird also Wärme entwickelt an den beiden Punkten, wo sich die Kugel und die Schienen berühren, und diese Wärme bringt eine Erhöhung der Schienen an diesen Punkten hervor. Bemerken Sie die Wirkung, die soeben noch ganz ruhig liegende Kugel wird sehr unruhig. Zuerst schwankt sie ein wenig ohne weiter zu rollen; jetzt rollt sie in der That ein kleines Stück, hält inne und rollt wieder zurück. Allmälig verlängert sie ihren Lauf, und jetzt ist sie weiter gegangen als ich beabsichtigte; sie ist nämlich ganz von den Schienen heruntergerollt und hat sich bei ihrem Falle beschädigt.

119. Sie sehen hier einen anderen Apparat, welchen ich Herrn Gore selbst verdanke, wobei die Schienen in Form zweier concentrischer Reifen angebracht sind. Wenn die Strömung im Gange ist, rollt die Kugel, *F* (Fig. 32), im Kreise herum *). Herr Gore hat leichte Kugeln noch ausserdem dadurch zum Rollen gebracht, dass er sie auf heisse, kreisförmige Kupferschienen legte; die rollende Kraft ist in diesem Falle dieselbe wie die schaukelnde Kraft im Trevelyan-Instrument.

120. Die Ausdehnung des Wassers, wenn es von dem flüssigen in den festen Zustand übergeht, ist Ihnen bereits

---

*) Phil. Mag. vol. XV, pag. 521.

anschaulich gemacht worden; bei den meisten anderen Substanzen ist das Festwerden mit Zusammenziehung

Fig. 32.



verknüpft. Hier ist ein runder Glasteller, welcher etwas warmes Wasser enthält. Auf dieses Wasser giesse ich aus einem Schmelzlöffel eine Quantität geschmolzenen Wachses. Dasselbe bildet nun eine flüssige Schicht, welche die ganze Oberfläche des Wassers bedeckt. Wir wollen sowohl das Wasser als das Wachs abkühlen lassen, und wenn sie kalt sind, werden wir finden, dass das Wachs, welches jetzt die ganze Oberfläche des Wassers bedeckt und sich ringsum dem Glase anheftet, sich zusammenzieht; und wir werden schliesslich eine Wachsscheibe gewinnen, deren Umfang viel kleiner ist als der des Tellers.

121. Das Wachs dehnt sich also aus, indem es von dem festen in den flüssigen Zustand übergeht. Um in den flüssigen Zustand übergehen zu können, müssen seine einzelnen Theilchen weiter auseinander geschoben werden, indem ein gewisser Spielraum zwischen den Atomen eine nöthige Bedingung des Flüssigseins ist. Ange-

nommen nun, wir träten der Expansion des Wachses durch äussere mechanische Kraft entgegen; angenommen ferner, wir hätten ein starkes, ganz mit festem Wachs angefülltes Gefäss, welches der Expansion der innen befindlichen Masse mächtigen Widerstand zu leisten im Stande wäre: welche Wirkung würden Sie erwarten, wenn Sie das im Gefäss enthaltene Wachs flüssig zu machen suchten? Wenn das Wachs frei ist, hat die Wärme nur die Anziehungskraft seiner eigenen Atome zu besiegen, in dem festen Gefäss jedoch hat sie nicht nur diese, sondern auch noch den Widerstand des Gefässes selbst zu überwinden. Daraus können wir sogleich schliessen, dass eine grössere Wärmemenge dazu gehört, das Wachs zu schmelzen, wenn es unter Druck, als wenn es frei ist; oder mit anderen Worten, dass der Schmelzpunkt des Wachses durch den Druck erhöht wird. Diese Schlussfolgerung wird vollständig gerechtfertigt durch die Versuche, welche nicht nur mit Wachs, sondern auch mit anderen Substanzen angestellt wurden, die bei dem Festwerden sich zusammenziehen und sich bei dem Flüssigwerden ausdehnen. Die Herren Hopkins und Fairbairn haben durch Druck den Schmelzpunkt einiger Substanzen, welche sich im Festwerden bedeutend zusammenziehen, um 20° bis 30° F. erhöht.

122. Diese Versuche führen uns zu einer merkwürdigen Schlussfolgerung. Bekanntlich nimmt die Temperatur der Erde in dem Grade zu, als wir tiefer in sie eindringen, und man hat den Punkt berechnet, an welchem alle bekannten irdischen Körper sich in einem Zustande der Schmelzung befinden würden. Herr Hopkins bemerkt jedoch, dass die tieferen Schichten, in Folge des ungeheuren Druckes der darüber liegenden Massen, einer viel höheren Temperatur bedürfen würden, um zu schmel-

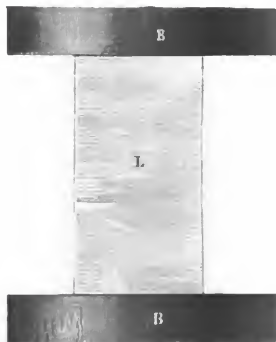
zen, als die an der Erdoberfläche befindlichen Schichten. Er schliesst daraus, dass die feste Kruste der Erde eine weit grössere Dicke haben müsse, als diese sich unter der Voraussetzung, dass der Schmelzpunkt der äusseren und der inneren Schichten derselbe sei, berechnen würde.

123. Lassen Sie uns nun vom Wachs zum Eis übergehen. Eis zieht sich beim Flüssigwerden zusammen; seine Atome brauchen mehr Raum, um eine feste Masse zu bilden, als sie bei derselben Temperatur zum flüssigen Zustande bedürfen. Dieses ist ohne Zweifel seinem krystallinischen Gefüge zuzuschreiben. Die anziehenden Pole der Atome sind so gestellt, dass weitere Räume zwischen den Theilchen im Innern der Masse frei bleiben, wenn die Krystallisationskraft in Wirksamkeit tritt. Wir können uns denken, dass sich dieselben mit ihren Kanten aneinander schliessen; und dass, indem sich Kante an Kante stellt, die Mittelpunkte der Theilchen sich voneinander entfernen müssen. Wie dem auch sei, so viel ist sicher, dass ihre Mittelpunkte auseinander weichen, wenn der feste Zustand eintritt. Die Abkühlung veranlasst demnach dieses Auseinanderdrängen und in Folge davon die Zunahme des Volumens. Offenbar müsste Druck in diesem Falle der Expansion, welche zum Festwerden nöthig ist, widerstehen; und eben deshalb macht der Druck das Wasser geneigter flüssig zu bleiben. Diese Ueberlegung führt uns zu dem Schlusse, dass die Schmelzpunkte derjenigen Substanzen, welche sich beim Festwerden ausdehnen, durch den Druck erniedrigt werden.

124. Professor James Thomson lenkte die Aufmerksamkeit zuerst auf diesen Punkt, und seine theoretischen Schlüsse sind durch die Versuche seines Bruders, Professor William Thomson, bestätigt worden.

125. Wir wollen diese Principien nun durch einen auffallenden Versuch erläutern. Ich habe hier einen viereckigen Block aus klarem Eise, von ungefähr $1^1/_2$ Zoll Höhe und einem Zoll Durchmesser. Die gegenwärtige Temperatur des Eises ist 0° C. Allein, wenn ich dieses Eis einem Drucke aussetze, so erniedrige ich seinen Schmelzpunkt. Unter der Einwirkung des Druckes wird das Eis schon unter Nullgrad zu schmelzen beginnen, und deshalb ist die Temperatur, welche es gegenwärtig besitzt, höher als diejenige, bei welcher es in zusammengepresstem Zustande schmilzt. Dieses Stück Eis ist so zugehauen, dass seine Gefrierflächen senkrecht zu der Höhe des Blockes stehen; aus der Richtung der Luftblasen in dem Eise, woraus ich dieses durchsichtige Stück entnahm, konnte ich sofort die Gefrierflächen desselben bestimmen. Ich setze also diese Eissäule, *L*, aufrecht zwischen zwei Tafeln von Buchsbaumholz, *B B'* (Fig. 33), bringe das Ganze zwischen die Platten dieser kleinen hydraulischen Presse, und leite einen Strahl aus dieser elektrischen Lampe durch das Eis. Vor dem Eise steht eine Glaslinse, wodurch ein vergrössertes Bild des Eises auf den hier befindlichen Schirm geworfen wird. Der Lichtstrahl, welcher das Eis durchdringt, ist zuvor gereinigt worden, so dass, obschon er noch heiss ist, seine Wärme doch nicht der Art ist, dass sie

Fig. 33.



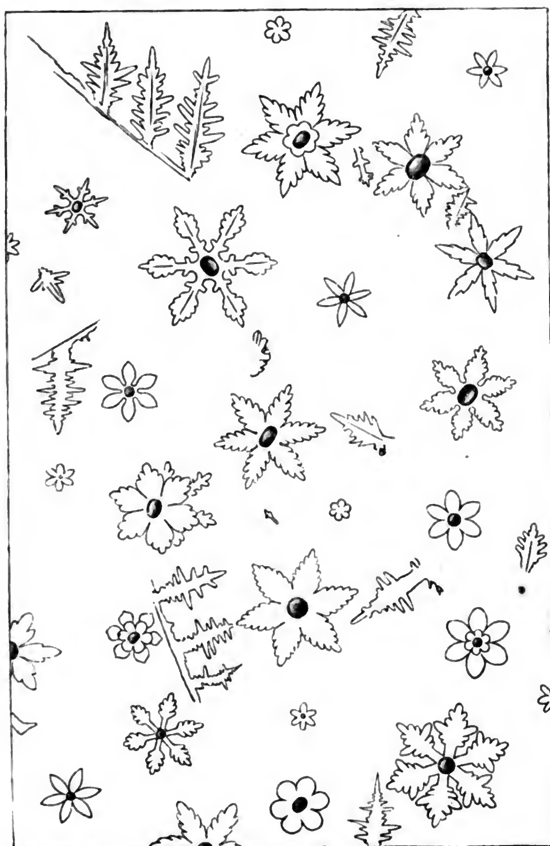
das Eis schmelzen könnte; daher durchdringt das Licht die Substanz ohne deren Schmelzung zu verursachen. Ich lasse die Presse wirken und die Eissäule wird nun sanft zwischen den zwei Buchsbaumtafeln gepresst. Ich wende den Druck mit grosser Vorsicht an, und jetzt werden Sie bemerken, dass sich dunkle Streifen quer durch das Eis und im rechten Winkel zur Richtung des Drucks zu bilden beginnen. Gerade im Mittelpunkte der Masse kommen sie zum Vorschein, und bei fortdauerndem Drucke dehnen sich die alten Streifen aus und neue kommen hinzu. Die ganze Säule ist jetzt quer durchfurcht von diesen Streifen. Was sind nun diese Streifen? Es sind einfach flüssige Schichten in der Verkürzung gesehen, und wenn Sie diese Säule untersuchen und schräg in dieselbe hineinblicken, können Sie sie von der Fläche sehen. Wir haben das Eis flüssig gemacht in Flächen, deren Richtung im rechten Winkel zu dem Drucke steht; und diese, durch die ganze Masse verbreiteten flüssigen Flächen geben ihr dieses blätterige Ansehen.

126. Das Wasser, in fester, flüssiger oder gasförmiger Gestalt, ist eine der wunderbarsten Substanzen in der Natur. Lassen Sie uns nun diese merkwürdigen Eigenschaften etwas näher betrachten. Bei jeder Temperatur, welche über 32° F. oder 0° C. ist, genügt die Wärmebewegung, um die Wasseratome an einer starren Verbindung zu verhindern. Bei 0° C. dagegen ist die Bewegung so abgeschwächt, dass die Atome anfangen aneinander festzuhaften und sich zu einem festen Körper zu verbinden. Bei dieser Verbindung jedoch ordnen sich die Theilchen in strenger Gesetzmässigkeit. Vielen unter den hier Anwesenden mag es scheinen, als ob dieses Stück Eis eben nicht mehr Interesse und Schönheit darböte als ein Stück Glas; aber in Wahrheit steht es zu Glas in demselben Verhält-

niss, wie ein Oratorium von Händel zu dem Geschrei eines Jahrmarktes. Das Eis ist Musik, das Glas ist Gelärme; das Eis ist Ordnung, das Glas ist Verwirrung. Im Glase bilden die Atomkräfte einen unauflöslich verwirrten Filz; im Eise sind sie zu einem symmetrischen Gewebe zusammengewirkt, dessen wunderbares Gefüge ich Ihnen jetzt klar zu machen versuchen will.

127. Wie soll ich dieses Eis nun zerlegen? Wir besitzen in dem Sonnenlicht oder, in Ermangelung dessen, in dem Lichte unserer elektrischen Lampe einen Anatomen, welcher dieser Arbeit gewachsen ist. Ich entferne den Stoff, womit ich diesen Strahl bei unserem letzten Versuche reinigte, und leite das Licht direct von der Lampe durch diese Platte von durchsichtigem Eise. Der Strahl wird das Krystallgebäude niederreissen, indem es seine architektonische Ordnung wiederum zerstört. Still und symmetrisch baute die Krystallisationskraft die Atome auf, still und symmetrisch wird der elektrische Strahl sie wieder auseinander nehmen. Das Eis steht vor der Lampe, deren Strahlen es quer durchschneiden. Vergleicht man den Strahl vor seinem Eindringen in die Substanz mit dem daraus hervortretenden Strahle, so wird für das Auge keine wahrnehmbare Verschiedenheit stattfinden; sein Licht ist kaum schwächer geworden. Nicht so seine Wärme. Als wärmendes Agens ist der Strahl viel mächtiger vor seinem Eintritt als nach seinem Austritt aus dem Eise. Ein Theil des Strahles ist in dem Eise zurückgehalten worden, und dieser Theil ist unser arbeitender Anatom. Ich setze eine Glaslinse vor das Eis und werfe hiermit ein vergrössertes Bild der Platte auf diesen Schirm. Betrachten Sie dieses Bild: (Fig. 34). Wir haben hier einen Stern und da einen Stern, und bei längerer Dauer des Vorganges scheint das Eis sich in

Fig. 34.



Sterne aufzulösen, deren jeder sechs Strahlen zeigt, und jeder einer schönen sechsblätterigen Blume zu vergleichen ist. Ich rücke mein Vergrösserungsglas hin und her, so dass neue Sterne sichtbar werden; bei noch längerer Dauer des Vorganges werden die Blätter tief eingekerbt und breiten sich farrenkraut-ähnlich auf dem Schirme aus. Wahrscheinlich haben Wenige unter den hier Anwesenden eine Ahnung gehabt von der Schönheit, welche in einem Stücke gewöhnlichen Eises verborgen ist. Und so verschwenderisch wirkt die Natur allenthalben in der Welt. Jedes Atom des festen Eises, welches die gefrorenen Seen des Nordens bedeckt, hat diesem Gesetze gemäss seine Stelle gefunden. „Die Natur strahlt gleichsam Musik aus" *) und es ist die Aufgabe der Wissenschaft, unsere Organe so zu klären, dass wir die Melodie verstehen können.

128. Ich muss Ihre Aufmerksamkeit jetzt auf zwei, mit diesem Versuche zusammenhängende Punkte lenken, welche obwohl scheinbar sehr unbedeutend, doch von höchstem Interesse sind. Sie sehen diese Blumen vermittelst durchgelassenen Lichtes, des Lichtes, welches sowohl durch die Blumen als durch das Eis gedrungen ist. Allein wenn Sie die Blumen in der Weise untersuchen, dass der Lichtstrahl von denselben gegen Ihr Auge reflectirt wird, so werden Sie in dem Mittelpunkt einer jeden Blume eine Stelle finden, welche wie polirtes Silber glänzt. Man könnte dieselbe für eine Luftblase halten; allein durch Eintauchen in heisses Wasser kann man das Eis rings um diesen Fleck abschmelzen, und in dem Augenblicke, wo dieser Fleck blossgelegt wird, fällt

*) „Lays her beams in music."

er zusammen und es ist keine Spur von einer Luftblase mehr zu sehen. Der Fleck ist ein Vacuum, Sie sehen, wie consequent die Natur arbeitet und wie streng gesetzlich ihre Vorgänge sind. Wir wissen, dass das Eis im Schmelzen sich zusammenzieht, und hier kommt diese Thatsache zur Erscheinung. Das Wasser dieser Blumen kann nicht ganz den Raum des Eises ausfüllen, durch dessen Schmelzung sie entstanden; deshalb muss nothwendig die Entstehung einer jeden flüssigen Blume von der Bildung eines luftleeren Raumes begleitet sein.

129. Als ich zum ersten Male diese schönen Figuren beobachtete, wollte es mir scheinen, als hörte ich ein Klirren gerade in dem Augenblick, da der Fleck in der Mitte wie ein plötzlich gebildeter Lichtpunkt zum Vorschein kam. Es war als hätte sich das Eis in der Mitte gespalten. Ich hielt es zuerst für ein Spiel meiner Einbildungskraft, dass ich einen Laut mit der Erscheinung des luftleeren Fleckes verband, gerade wie man behauptet, dass Leute, welche einen Meteorstein fallen sehen, sich oft einbilden, dass sie ein Geräusch dabei vernehmen, obschon sie in Wirklichkeit nichts hören. Das Klirren war jedoch ein wirkliches Geräusch; und wenn Sie es mir erlauben, werde ich Sie von dieser unbedeutenden Thatsache durch eine Reihe von interessanten Naturerscheinungen zu einer weit entfernten Frage der praktischen Wissenschaft führen.

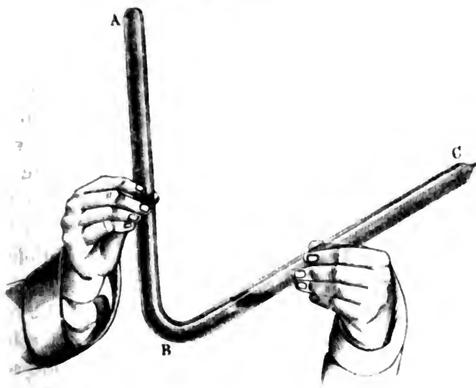
130. Alles Wasser enthält eine Menge Luft im Zustande der Auflösung, welche durch das Kochen des Wassers frei gemacht werden kann. Bei dem Erwärmen von einer Flasche voll Wasser sehen Sie lange bevor dasselbe zu sieden beginnt, eine Menge von Luftblasen sich an den Seitenwänden festsetzen, durch die Flüssigkeit auf-

steigen und oft noch eine Weile auf der Oberfläche schwimmen: es ist eine der wichtigsten Wirkungen dieser im Wasser enthaltenen Luft, dass sie das Aufwallen der Flüssigkeit befördert. Sie wirkt in der Art einer elastischen Feder, indem sie die Wasseratome auseinander drängt und ihnen dadurch hilft, in den gasförmigen Zustand überzugehen.

131. Man denke sich nun, diese Luft sei entfernt worden; die Atome haben alsdann das Polster, welches sie bisher voneinander trennte, verloren, und werden sich in weit innigerer Weise aneinander schliessen. Die Cohäsion des Wassers wird sehr vermehrt durch die Entfernung der Luft. Hier ist ein Glasgefäss, der sogenannte Wasserhammer, welches von Luft befreites Wasser enthält. Der Verlust des elastischen Stosspolsters übt unter Anderem die Wirkung aus, dass das Wasser nach seiner Entfernung mit dem Klang eines festen Körpers fällt. Sie hören, wie die Flüssigkeit gegen das Ende der Röhren anklingt, wenn ich letztere umstürze. Hier ist eine andere Röhre, *A*, *B*, *C* (Fig. 35), in Gestalt eines V, welche den Zweck hat, zu zeigen, wie die Cohäsion des Wassers durch langes Sieden verändert wird. Ich bringe dieses Wasser in den einen Arm von diesem V; es fliesst, wie Sie sehen, frei in den anderen Arm über, wenn ich die Röhre dorthin neige. Ich lasse es in den ersten Arm zurückfliessen, und poche nun mit diesem Ende der Röhre gegen den Tisch. Sie werden im Anfang einen unzusammenhängenden klingelnden Laut vernehmen. So lange Sie denselben hören, ist das Wasser noch nicht in wirklicher Berührung mit der inneren Fläche der Röhre. Ich fahre fort zu klopfen; Sie werden die Veränderung in dem Tone bemerken. Das Klingeln hat aufgehört: es folgt jetzt ein harter Klang, als ob ein fester Körper auf

den andern fiele. Ich hebe die Röhre in die Höhe und kehre die Wassersäule um, allein das Wasser bleibt in *AB*. Seine Atome hängen jetzt so fest an den Wänden der Röhre fest und klammern sich so innig aneinander,

Fig. 35.



dass das Wasser sich nicht mehr wie ein flüssiger Körper verhält, sondern sich weigert dem Gesetz der Schwere zu folgen.

132. Soviel über die Zunahme der Cohäsionskraft; allein eben diese Cohäsionskraft befähigt die Flüssigkeit, dem Kochen zu widerstehen. Wasser, welches auf diese Weise von der ihm innewohnenden Luft befreit ist, kann bis zu einer Temperatur, die um 55° C. und mehr seinen gewöhnlichen Siedepunkt übersteigt, erhitzt werden, ohne zu kochen. Allein merken Sie auf, was geschehen wird, wenn die Flüssigkeit zum Sieden kommt. Sie be-

sitzt einen ungeheuren Wärmevorrath; die ineinander geschlossenen Atome lösen sich schliesslich, aber sie thun es mit der Heftigkeit einer Springfeder, welche bei zu starker Spannung plötzlich bricht, und das Kochen verwandelt sich in eine Explosion. Die Entdeckung dieser interessanten Eigenschaft des Wassers verdanken wir Herrn Donny in Ghent.

133. Aber wenden wir uns wieder zu unserem Eise: Wasser schliesst beim Gefrieren die Luft völlig von seiner krystallinischen Architektur aus. Durch den Vorgang des Gefrierens werden alle fremden Körper ausgetrieben, und das Eis enthält keine aufgelöste Luft. Gesetzt also, man schmelze ein Stück reines Eis unter solchen Bedingungen, dass keine Luft hinzutreten kann, so muss man Wasser in dem Zustande höchster Cohäsion erhalten, und solches Wasser müsste beim Erwärmtwerden die obengenannten Wirkungen zeigen. Faraday hat uns bewiesen, dass dem wirklich so ist. Er schmolz reines Eis unter Terpentinöl, und fand, dass die so erlangte Flüssigkeit weit über den Siedepunkt erhitzt werden konnte, und dass das durch die Wärme bewirkte Aufwallen der Flüssigkeit mit der Heftigkeit einer Explosion geschah. Lassen Sie uns diese Thatsachen auf die sechsblätterigen Eisblumen und auf ihren kleinen sternförmigen Mittelpunkt anwenden. Diese Blumen bilden sich an Stellen, wo keine Luft hindringen kann. Stellen Sie sich eine in der Bildung begriffene und allmälig an Grösse zunehmende Blume vor. Der Zusammenhang der Flüssigkeit ist so stark, dass sie die Wände ihrer Zellen nach Innen ziehen oder sogar ihr eigenes Volumen eher vergrössern wird, ehe sie nachgiebt. Allein indem die Zelle wächst, wird der Raum, den die Flüssigkeit auszufüllen strebt, zu gross für sie, bis sie mit einem hörbaren

Klirren auseinanderreisst und ein luftleerer Raum sich bildet.

134. Werfen wir jetzt noch einen letzten Blick auf dieses Gewebe gegenseitiger Beziehungen. Es ist eine sehr bemerkenswerthe Thatsache, dass eine grosse Anzahl von Locomotiven in dem Augenblick explodirt ist, da sie den Schuppen, unter welchem sie einige Zeit ruhig gestanden hatten, verliessen. Die Zahl der Explosionen, welche gerade dann erfolgten, wenn der Maschinenmeister den Dampfhahn aufdrehte, ist ganz erstaunlich. Wenn nun das in einer Locomotive enthaltene Wasser lange genug gekocht hat, um alle darin enthaltene Luft daraus zu vertreiben, so wird dieses Wasser in höherem oder geringerem Grade die starke Cohäsion besitzen, worauf ich Ihre Aufmerksamkeit gelenkt habe. Es ist wenigstens annehmbar, dass sich während der Ruhezeit, welche der Abfahrt vorausgeht, ein Ueberfluss an Wärme in dem Dampfkessel ansammeln konnte. Wenn nun wirklich eine solche Ansammlung stattgefunden hat, so wird das sichere Resultat davon sein, dass der Maschinist, indem er den Dampfhahn aufdreht, durch einen solchen mechanischen Eingriff den Bruch der Cohäsion herbeiführt, und dass explodirender Dampf sich augenblicklich bildet. Ich behaupte nicht, dass dem so *sei*; aber wer kann sagen, dass dem *nicht* so sei? Wir haben uns hier mit einer wirklich vorhandenen Ursache beschäftigt, welche, wenn die Bedingungen ihrer Wirksamkeit eintreten, jedenfalls hinreichend ist, um die ihr zugeschriebenen Wirkungen hervorzubringen.

135. Wir haben soeben ein anderes Thema, nämlich den Dampf, berührt, und wollen jetzt noch einige Minuten weiterer Betrachtung auf dessen Bildung und Wirkung verwenden. Wenn man dem Wasser Wärme, oder

mit anderen Worten, Bewegung zuführt, so entweicht eine vermehrte Anzahl seiner Atome von seiner Oberfläche. Wir nähern uns endlich dem sogenannten Siedepunkt der Flüssigkeit, wobei sich die Dampfbildung nicht mehr auf die freie Oberfläche beschränkt, sondern am stärksten auf dem Boden des Gefässes, auf welches die Hitze einwirkt, bemerkbar wird. Siedet das Wasser in einem Becherglas, so kann man den Dampf vom Boden desselben bis zur Oberfläche aufsteigen sehen, woselbst er oft, in ein domförmiges flüssiges Häutchen eingeschlossen, noch eine Weile zu schwimmen pflegt. Das Zustandekommen solcher Blasen bedingt das Ueberwinden gewisser Widerstände. Der erste davon ist die Adhäsion des Wassers an das Gefäss, worin es enthalten ist, und diese Kraft wechselt mit der Substanz des Gefässes. In einem Glasgefäss kann z. B. der Siedepunkt um zwei oder drei Grade durch die Adhäsion erhöht werden, während das in Metallgefässen unmöglich ist. Die Adhäsion wird unregelmässig und stossweise überwunden; dieses Verhalten der Flüssigkeit kann durch Beimischung gewisser Salze so sehr gesteigert werden, dass ein lauter polternder Ton das Aufwallen derselben begleitet; ja die Trennung ist in manchen Fällen so plötzlich und heftig, dass die ganze Flüssigkeit mit Einem Mal aus dem Gefässe heraus springt.

136. Ein zweiter Widerstand der Flüssigkeit gegen das Sieden besteht in der gegenseitigen Anziehungskraft der flüssigen Atome; einer Kraft, welche sehr mächtig werden kann, wie wir gesehen haben, wenn die Flüssigkeit ganz von Luft gereinigt worden ist.

Es ist dies nicht allein bei dem Wasser, sondern auch bei anderen Flüssigkeiten — bei allen Aethern und Alkoholen zum Beispiel — der Fall. Wenn man einen klei-

nen, mit Aether oder Alkohol angefüllten Kolben mit der Luftpumpe in Verbindung bringt, so wird, sobald die Pumpe arbeitet, ein heftiges Aufwallen in der Flüssigkeit entstehen; wenn jedoch alle Luft daraus entfernt worden ist, können wir in manchen Fällen die Pumpe fortarbeiten lassen, ohne ein wahrnehmbares Aufkochen der Flüssigkeit zu bewirken, indem allein die freie Oberfläche derselben noch Dämpfe abgiebt.

137. Der Dampf muss noch zwei andere Dinge überwinden, ehe er im Inneren einer Flüssigkeit blasenförmig existiren kann — nämlich das Gewicht des darüberliegenden Wassers und das Gewicht der Luft über dem Wasser. Der Einfluss der Atmosphäre kann auf folgende Weise anschaulich gemacht werden. Ich habe hier ein zinnernes Gefäss, welches Wasser enthält, das durch diese kleine Lampe siedend erhalten wird. Im gegenwärtigen Augenblick ist der Raum oberhalb des Wassers mit Dampf angefüllt, welcher durch diesen Hahn ausströmt. Ich schliesse den Hahn, entferne die Lampe und giesse kaltes Wasser auf das Gefäss. Der Dampf im Inneren wird verdichtet, das elastische Kissen, welches im Widerstande gegen den Druck der Atmosphäre die Wände des Gefässes nach aussen drängte, ist entfernt, und nun bemerken Sie die Wirkung. Die Wände des Gefässes werden durch den atmosphärischen Druck zusammengepresst und gefaltet. Dieser Druck beträgt 15 Pfund auf jeden Quadratzoll; wie kann ein so zerbrechliches Ding, wie eine Dampfblase, auf der Oberfläche des Wassers bestehen? Einfach deshalb, weil die elastische Kraft des Dampfes im Inneren gerade so gross ist, als die der äusseren Atmosphäre; die flüssige Hülle befindet sich zwischen zwei elastischen Kissen, welche sich gegenseitig völlig neutralisiren. Wäre der Dampf der Stärkere, so müsste

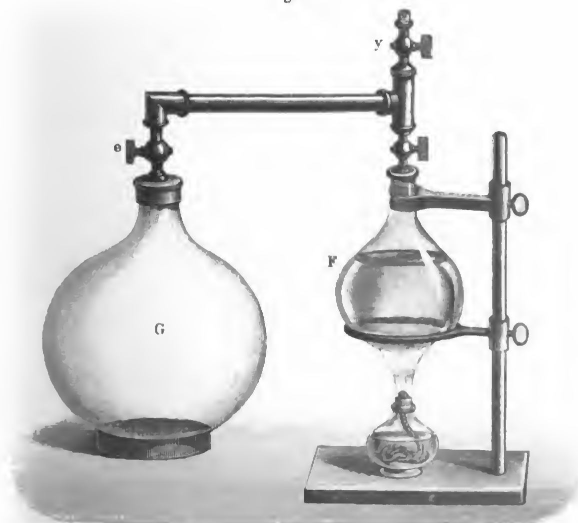
die Blase von Innen nach Aussen aufbrechen; wäre die Luft die Stärkere, so würde die Blase nach Innen eingedrückt. Hier haben wir also die richtige Definition von dem Siedepunkt einer Flüssigkeit: Es ist diejenige Temperatur, bei welcher die Spannkraft ihres Dampfes dem atmosphärischen Druck genau das Gleichgewicht hält.

138. Wenn wir einen Berg besteigen, so nimmt der Druck der Atmosphäre ab, und der Siedepunkt wird verhältnissmässig niedriger. An einem Morgen im August des Jahres 1859 war die Temperatur des siedenden Wassers auf der Spitze des Mont Blanc 84,97° C., d. h. also ungefähr 15 Grad niedriger als auf der Meereshöhe. Am 3. August 1858 war die Temperatur des siedenden Wassers auf dem Gipfel des Finsteraarhornes 86°,11° C. Auf dem Gipfel des Monte Rosa stand der Siedepunkt am 10. August 1858 auf 84,96° C. Diese Beobachtungen ergaben also, dass der Siedepunkt auf dem Monte Rosa beinahe derselbe ist, als auf dem Mont Blanc, obwohl letzterer den ersten um 500 Fuss überragt. Die Veränderungen des Barometerstandes geben jedoch eine genügende Erklärung für diesen Widerspruch. Das Sinken des Siedepunktes beträgt ungefähr 1° F. auf je 590 Fuss Steigung, und von der Temperatur, bei welcher das Wasser kocht, können wir auf die Höhe des Berges schliessen. In London pflegt man zu sagen, dass man siedendes Wasser haben müsse, um guten Thee zu bereiten; wenn dem so ist, so kann man sich augenscheinlich dieses Getränk nicht in seiner ganzen Vollkommenheit in den höheren Stationen der Alpen verschaffen.

139. Lassen Sie uns nun einen Versuch machen, um die Abhängigkeit des Siedepunktes von dem äusseren Drucke zu zeigen. Hier ist ein Glaskolben, *F* (Fig. 36), welcher Wasser enthält, und hier ist ein zweiter, *G*, weit

grösserer, dessen Luft ich zuvor auspumpen liess. Die beiden Kolben sind durch ein System von Hähnen vereinigt, welches mir erlaubt, eine Verbindung zwischen ihnen herzustellen. Das Wasser in dem kleinen Gefäss

Fig. 36.



hat schon eine Weile gekocht, wobei der Dampf durch den Hahn *y* entwichen ist. Ich entferne jetzt die Spirituslampe und drehe diesen Hahn so, dass die Luft nun ausgeschlossen wird. Das Wasser hört auf zu sieden, und reiner Dampf füllt nun den Raum des Kolbens über dem Wasser. Geben wir dem Wasser Zeit sich etwas abzukühlen. In gewissen Zwischenräumen sehen Sie eine Dampfblase aufsteigen, weil der Druck des darüber be-

findlichen Dampfes mit dessen langsamer Verdichtung allmälig nachlässt. Ich beschleunige diese Condensation, indem ich kaltes Wasser auf die Flasche giesse; die Blasen vermehren sich dabei. Ich könnte das Wasser zum heftigen Sieden bringen, wenn ich die ganze Flasche in kaltes Wasser tauchte. Das Wasser in *F* ist jetzt ruhig, und steht einige Grad unter seinem gewöhnlichen Siedepunkt. Ich drehe jetzt den Hahn *C*, welcher einen Ausweg für den Dampf nach dem ausgepumpten Gefäss *G* eröffnet; so wie der Druck in *F* nachlässt, beginnt das darin befindliche Wasser zu kochen; und Sie werden sehen, dass der condensirte Dampf wie ein Regenguss an den Seiten des Gefässes *G* herabfällt. Wir können, indem wir die Flasche *G* kühl erhalten und den darin enthaltenen Dampf dadurch verhindern, auf die Oberfläche des Wassers in *F* zurückzuwirken, die kleine Flasche *F* eine ziemliche Weile hindurch im Sieden und Wallen erhalten.

140. Durch starke Erhitzung kann man die elastische Kraft des Dampfes ungeheuer steigern. Der Marquis v. Worcester sprengte Kanonen damit, und unsere unseligen Dampfkessel-Explosionen machen uns diese Kraft nur allzu anschaulich. Der menschlichen Geschicklichkeit gelang es jedoch, dieses gewaltige Agens zu beherrschen: Denis Papin hob damit einen Kolben, welcher durch atmosphärischen Druck wieder niedergedrückt wurde, während der Dampf sich verdichtete; Savery und Newcomen zogen praktischen Nutzen daraus, und James Watt vollendete diese grossartige Anwendung der bewegenden Kraft der Wärme. Wir lassen den Stempel durch Dampf in die Höhe treiben, während der darüber befindliche Raum mit einem Condensator oder der freien Luft in Verbindung steht, und lassen den Stempel wieder hin-

abtreiben, während der darunter befindliche Raum mit einem Condensator oder der freien Luft in Verbindung ist; dadurch erhalten wir eine einfache hin- und hergehende Bewegung, welche man durch mechanische Vorrichtungen in jede beliebige Form bringen kann.

Das Princip von der Erhaltung der Kraft wird hier, wie überall, anschaulich gemacht. Für jeden Kolbenhub, welchen die Maschine leistet, für jedes Pfund, das sie hebt, für jedes Rad, das sie in Bewegung setzt, verschwindet eine entsprechende Menge von Wärme. Eine Tonne Kohlen liefert uns durch ihre Verbrennung eine genau bestimmte Wärmemenge. Man wende diese Kohlenmenge dazu an, eine Dampfmaschine in Bewegung zu setzen, und sammle alle Wärme, welche in der Maschine und in dem Condensator verbreitet ist, und alle Wärme, welche durch Strahlung und durch Berührung mit der Luft verloren ging, so wird man finden, dass dieser Wärmebetrag geringer ausfällt, als derjenige, der durch einfache Verbrennung einer Tonne Kohlen erzeugt worden wäre, und zwar geringer um eine der geleisteten Arbeit genau äquivalente Menge. Angenommen, diese Arbeit bestehe darin, ein Gewicht von 7720 Pfund einen Fuss zu heben; so wird die von der Kohle erzeugte Wärme um einen Betrag, der gerade hinreichen würde, um 1 Pfund Wasser um 10°F. zu erwärmen, hinter ihrem Maximum zurückbleiben.

Diese theoretische Schlussfolgerung ist durch eine Reihe von verwickelten Versuchen, welche in grossem Maassstabe und mit ausserordentlicher Ausdauer von Herrn Hirn, Civil-Ingenieur zu Colmar, ausgeführt wurden, zur Thatsache geworden.

141. Meine gegenwärtige Absicht ist jedoch, mich mehr mit der Natur als mit der Kunst zu beschäftigen,

und ich kann deshalb den Triumph der menschlichen Geschicklichkeit, wie er sich in der Anwendung des Dampfes zu den Bedürfnissen des täglichen Lebens offenbart, nur vorübergehend berühren. Wer jemals die Werkstätten von Woolwich oder eine andere unserer grossen Fabriken mit ausgedehnter Maschinenanwendung gesehen hat, der wird einen richtigen Begriff von der mächtigen Hülfe erhalten, welche die Kraft der Wärme dem Menschen leistet. Dabei darf man nicht vergessen, dass jedes Rad, welches sich bewegt, jeder Meissel, jeder Hobel und Bohrer und jede Säge, welche in das massive Eisen eindringen als wäre es Käse, ihre bewegende Kraft von den aneinander prallenden Atomen im Inneren des Feuerofens erhalten. Die Bewegung der Atome theilt sich dem Dampfkessel mit und geht von da auf das Wasser über, dessen Theilchen auseinander gerüttelt werden, und mit einer abstossenden Kraft, welche zu der mitgetheilten Wärme im Verhältniss steht, auseinander fliegen. Der Dampf ist einfach der Apparat, durch dessen Vermittlung die Atombewegung in mechanische Bewegung verwandelt wird. Und die so erzeugte Bewegung ist im Stande ihren Erzeuger wieder hervorzubringen. Betrachten Sie die Hobel und Bohrinstrumente — es werden Wasserströme darüber hingeleitet um sie kalt zu erhalten. Berühren Sie die krausen Eisenspäne, welche der Hobel abgestreift hat; Sie können dieselben nicht in der Hand halten, so heiss sind sie. Hier ist die bewegende Kraft wieder in ihre ursprüngliche Gestalt zurückgekehrt, und die Arbeit der Maschine ist dazu verbraucht worden, um diejenige Macht wieder herzustellen, von welcher ihre Leistungsfähigkeit hergeleitet worden war.

142. Ich muss Ihre Aufmerksamkeit jetzt auf eine natürliche Dampfmaschine lenken, welche schon lange

Zeit eine Stelle unter den Weltwundern einnahm. Ich spreche von dem grossen Geyser in Island. Die Oberfläche von Island steigt allmälig von der Küste gegen den Mittelpunkt auf, wo die Bodenhöhe circa 2000 Fuss über dem Meere beträgt. Auf dieser Höhe ruhen wie auf einem Piedestal die Jöküll oder Eisberge, welche sich sowohl in nördlicher als in östlicher Richtung hinziehen. Auf dieser Kette befinden sich die activen Vulkane der Insel; und auch die darauf befindlichen warmen Quellen folgen derselben Richtung. Den Klüften und Schlünden, welche von diesen Bergen auslaufen, entströmen in gewissen Zwischenräumen zischend und brausend ungeheure Dampfmassen; und wenn dieses Ausströmen am Eingang einer Höhle stattfindet, so steigert sich das Geräusch, durch die Resonanz der Höhle oft zu einem donnerähnlichen Getöse. Tiefer unten in den porösen Schichten sieht man rauchende Schmutzpfützen, worin eine widerliche, schwärzlich-blaue, thonige Masse kocht, welche, zuweilen in unförmlichen Blasen aufsteigend, im Zerbersten ihren schlammigen Schaum bis zu 15 oder 20 Fuss Höhe schleudert. Vom Fusse der Berge aufwärts dehnen sich die Gletscher aus, während die Gipfel derselben mit grossen Schneefeldern gekrönt sind. Aus den Gewölben und Spalten der Gletscher strömen grosse Wassermassen hervor; stürzen sich zuweilen als Wasserfälle über die Eiswände herab und verbreiten sich oft meilenweit über das Land, ehe sie einen definitiven Ausweg finden. Dadurch entstehen ausgedehnte Sümpfe, welche durch ihre traurige Einförmigkeit das trübselige Bild noch vervollständigen, auf dem hier das Auge des Reisenden ruht. Ein Theil dieses Wassers wird durch die Ritzen und Spalten des Bodens aufgefangen, und sickert hinab bis zu den heissen Felsen in der Tiefe; hier trifft es auf die vulkanischen

Gase, welche diese unterirdischen Regionen durchströmen; — Wasser und Gase strömen dann zusammen weiter, um bei der ersten passenden Gelegenheit entweder als Dampfausbruch oder als siedender Quell zum Vorschein zu kommen.

143. Die berühmteste dieser Quellen ist der Grosse Geyser. Derselbe besteht aus einer 74 Fuss tiefen und 10 Fuss weiten Röhre. Nach oben öffnet sich die Röhre in ein Bassin, dessen Durchmesser von Norden nach Süden 52 Fuss, und von Osten nach Westen 60 Fuss beträgt. Das Innere der Röhre und des Beckens ist mit einem wundervoll glatten, kieselartigen Stuck bekleidet, der hart genug ist, um den Schlägen eines Hammers zu widerstehen; und die erste Frage lautet: Wie ist diese wundervolle Röhre erbaut worden und wie wurde sie so vollkommen mit Stuck überkleidet? Die chemische Untersuchung zeigt, dass das Wasser aufgelöste Kieselerde enthält, und man könnte deshalb annehmen, dass das Wasser diese Kieselerde an den Wänden der Röhre und des Bassins abgesetzt habe. Allein dies ist nicht der Fall, das Wasser hinterlässt keinen Bodensatz; gleichviel, wie lange man es aufbewahrt, es scheidet sich keine feste Substanz davon aus. Man kann es verkorken und Jahre lang aufbewahren; es bleibt klar wie Krystall und zeigt nicht die geringste Neigung, einen Niederschlag zu bilden. Diese Beantwortung der Frage würde überdies zu der Annahme führen, als sei das Gehäuse der Röhre durch ein fremdes Agens gebildet worden, während das Wasser nur die Verkleidung desselben abgegeben habe. Das Bassin des Geysers ruht jedoch auf dem Gipfel eines Erdkegels von ungefähr 40 Fuss Höhe; und der blosse Anblick desselben zeigt augenscheinlich, dass dieser Kegel von dem Geyser selbst gebildet worden ist. Während er

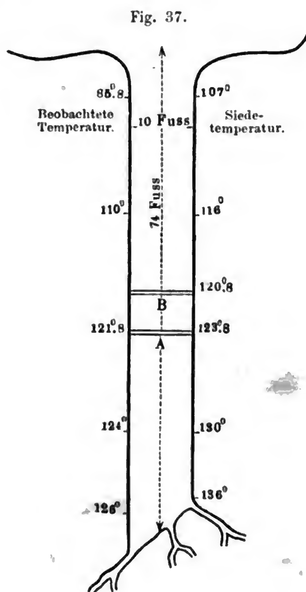
diesen Wall aufbaute, musste seine Quelle auch gleichzeitig die Röhre gebildet haben, welche den Wall durchdringt, und daraus folgt, dass der Geyser der Architekt seiner eigenen Röhre gewesen ist.

144. Wenn wir eine Quantität Geyserwasser in eine Schale bringen, wo sie verdunsten kann, so wird sich Folgendes ereignen: In der Mitte des Gefässes wird die Flüssigkeit keinen Niederschlag bilden; allein an den Wänden, wo sie durch Capillaranziehung aufsteigt, und so einer schnellen Verdunstung ausgesetzt ist, finden wir einen Niederschlag von Kieselerde. Ein Ring von Kieselerde legt sich am Rande des Wassers an; allein die Verdunstung muss schon ziemlich lange gedauert haben, ehe wir die leiseste Trübung in der Mitte des Wassers finden können. Dieser Versuch ist die mikroskopische Darstellung des Vorganges, der sich in Island vollzieht. Denken Sie sich eine einfache warme kieselhaltige Quelle, deren Wasser einen sanften Abhang hinabfliesst; das der Luft ausgesetzte Wasser verdunstet und die Kieselerde bleibt zurück. Dieser Niederschlag erhöht allmälig die Fläche, über welche das Wasser hinfliesst, bis dasselbe schliesslich einen anderen Lauf annehmen muss. Dasselbe findet nun auch hier statt; der Boden erhebt sich, wie im vorhin erwähnten Fall, und die Quelle muss einen anderen Abfluss suchen. Sie ist demnach gezwungen, immer in die Runde zu wandern, ihre Kieselerde abzusetzen, und den Schacht, worin sie sich befindet, zu vertiefen, bis schliesslich im Laufe der Jahrtausende die einfache Quelle jenen wunderbaren Apparat aufgebaut hat, welcher so lange sowohl dem Reisenden als dem Naturforscher erstaunlich und räthselhaft erschien.

145. Vor einem Ausbruche füllen sich sowohl die Röhre als auch das Becken mit heissem Wasser; ein Ge-

töse, wobei der Erdboden erzittert, lässt sich ab und zu vernehmen, und ist jedesmal von einer lebhaften Aufregung im Wasserbecken begleitet. Das Wasser in der Röhre steigt, bildet eine Erhöhung in der Mitte des Beckens und ein Theil davon fliesst über. Diese Detonationen sind offenbar dem in den Wasserleitungen, welche die Röhre des Geysers speisen, entstandenen Dampf zuzuschreiben; dieser Dampf sucht sich durch das kühlere Wasser der Röhre einen Ausweg, wird hier plötzlich verdichtet, und führt solche Explosionen herbei. Es gelang Professor Bunsen, die Temperaturen in der Röhre des grossen Geysers, vom Fusse bis zum Gipfel, einige Minuten vor einem grösseren Ausbruche zu bestimmen, und seine Beobachtungen ergaben die merkwürdige Thatsache, dass das Wasser an keiner Stelle der Röhre seinen Siedepunkt erreichte. In der anliegenden Zeichnung (Fig. 37) habe ich auf einer Seite die wirklich beobachteten Temperaturen, auf der anderen

Fig. 37.



Seite diejenigen Temperaturen angegeben, bei welchen das Wasser sieden würde, wenn man sowohl den atmosphärischen Druck als die darüber liegende Wassersäule in Erwägung zieht. Bei *A* ist das Wasser dem Siedepunkt am nächsten, bei einer Höhe von 30 Fuss über dem Boden; aber auch hier steht das Wasser noch um 2° C., oder mehr als 3½° F. unter der Temperatur, bei welcher es kochen könnte. Wie kann unter solchen Umständen ein Ausbruch stattfinden?

146. Richten Sie Ihre Aufmerksamkeit auf das Wasser bei dem Punkte *A*, wo die Temperatur nur noch 2° C. unter dem Siedepunkte steht. Erinnern Sie sich an das Steigen der Wassersäule beim Eintreten der Detonationen. Nehmen wir an, durch das Eindringen des Dampfes aus den Nebengängen, nahe dem Grunde der Röhre, werde die Geysersäule um 6 Fuss gehoben, eine Höhe, welche ganz innerhalb der Grenzen der wirklichen Beobachtungen ist, so wird das Wasser also von *A* nach *B* versetzt. Sein Siedepunkt bei *A* ist 123,8° und seine wirkliche Temperatur 121,8°; allein bei *B* ist sein Siedepunkt nur 120,8°; deshalb besitzt das Wasser, wenn es von *A* nach *B* versetzt wird, mehr Wärme als es zum Sieden gebrauchen würde. Dieser Wärmeüberschuss wird augenblicklich zur Dampfbildung verwendet; die Wassersäule hebt sich höher und das darunter befindliche Wasser wird mehr entlastet. Es entsteht noch mehr Dampf, und von der Mitte nach unten geräth die Masse plötzlich in siedendes Wallen, das mit Dampfwolken gemischte Wasser oberhalb, wird in die Atmosphäre empor geschleudert, und wir haben einen Geyserausbruch in seiner vollen Schönheit.

147. Das Wasser kühlt sich durch seine Berührung mit der Luft ab, fällt zurück in das Becken, füllt theil-

weise die Röhre wieder an, steigt allmälig wieder darin empor und füllt das Becken schliesslich wieder wie zuvor. In gewissen Zwischenräumen lassen sich die Detonationen wieder hören und das Wasser steigt in der Mitte des Beckens. Dieses sind jedoch vergebliche Versuche zu einem Ausbruche, denn erst, wenn das Wasser in der Röhre seinem Siedepunkt nahe genug kommt, um die Wassersäule zu heben, können wir einen wahren Ausbruch erwarten.

148. Diese schöne Theorie verdanken wir Professor Bunsen; versuchen wir nun, dieselbe durch ein Experiment zu rechtfertigen. Hier ist eine 6 Fuss lange Röhre aus galvanisirtem Eisen, *AB* (Fig. 38), auf deren Höhe sich ein Becken *CD* befindet. Dieselbe wird durch ein darunter befindliches Feuer erwärmt und um so viel als möglich dieselben Bedingungen wie bei dem Geyser herzustellen ist die Röhre 2 Fuss über ihrem unteren Ende von einem zweiten Feuer, *F*, umgeben. Ohne Zweifel ist die hohe Temperatur des Wassers auf der entsprechenden Höhe des Geyserschachtes einer örtlichen Einwirkung des erwärmten Felsen zuzuschreiben. Ich fülle die Röhre mit Wasser, welches sich allmälig erwärmt, und regelmässig alle 5 Minuten wird das Wasser aus der Röhre in die Luft geschleudert.

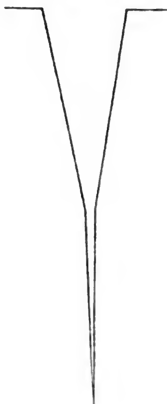
149. Es giebt in Island noch einen anderen berühmten Quell, Strokkur genannt, dessen Ausbrüche gewöhnlich dadurch veranlasst werden, dass sich seine Mündung durch Erdschollen verstopft. Wir können die Wirkungen dieser Quelle dadurch nachahmen, dass wir die Oeffnung unserer Röhre *AB* mit einem Kork verschliessen. Dies geschieht hiermit und nun steigert sich die Hitze. Der unter dem Kork befindliche Dampf wird schliesslich genügende Kraft haben, um denselben auszustossen, und

Fig. 38.



das plötzlich von seinem Drucke befreite Wasser wird in die Luft empor spritzen. Die Decke dieses Zimmers ist beinahe 30 Fuss über dem Fussboden; allein der Wasserstrahl hat die Decke erreicht und fällt nun in starken Tropfen herab. In Fig. 39 habe ich einen Querschnitt des Strokkur gegeben.

Fig. 39.



150. Wir können die Wirkungen von manchen anderen eruptiven Quellen nachahmen, indem wir die Mündung unserer Geyserröhre mittelst eines Korkes verstopfen, durch welchen Glasröhren von verschiedener Höhe und Weite gesteckt sind. Hier z. B. haben wir intermittirende Ausbrüche. Wassergüsse und heftige Dampfströme brechen in rascher Folge hervor, wobei das Wasser seinen Strahl bis zu 15 und 20 Fuss in die Höhe sendet. Diese Versuche beweisen demnach, dass die Röhre selbst eine genügende Ursache für die Ausbrüche des Geysers bildet; wir sind also nicht mehr gezwungen, uns unterirdische mit Wasser und Dampf angefüllte Höhlen vorzustellen, welche man früher zur Erklärung dieser wunderbaren Erscheinungen für nothwendig hielt.

151. Bei einigem Nachdenken werden wir jedoch einsehen, dass den Wirkungen des Geysers eine Grenze gesetzt sein muss. Wenn der Schacht eine solche Höhe erreicht hat, dass das Wasser in seiner Tiefe, des vermehrten Druckes wegen, den Siedepunkt nicht mehr erreichen kann, so werden die Ausbrüche nothwendiger

Weise aufhören. Die Quelle wird jedoch fortfahren ihre Kieselerde abzusetzen, und wird oftmals ein „Laug" oder eine Cisterne bilden. Es giebt ihrer mehrere in Island, welche bis zu 40 Fuss Tiefe haben. Ihre Schönheit ist unbeschreiblich, sagt Bunsen; über ihrer Oberfläche kräuselt sich ein leichter Dampf; das Wasser ist vom reinsten Blau, und überzieht mit seiner lieblichen Farbe die phantastischen Gebilde an den Wänden der Cisterne, während oft auf dem Grunde die Mündung des einstmals mächtigen Geysers sichtbar ist. Man findet in Island die Spuren grossartiger aber nun erloschener Geyser-Operationen. Man bemerkt kegelförmige Erdwälle, deren Schachte mit Geröll angefüllt sind, während das Wasser sich wohl einen unterirdischen Ausweg gesucht und sich auf einen anderen Schauplatz begeben hat. Wir haben dort also den Geyser als Jüngling, als Mann, als Greis und nach dem Tode vor uns. In der Jugend als einfache warme Quelle; im Mannesalter als eruptive Säule; im Greisenalter als ruhigen Laug; während nach dem Tode der zerstörte Schacht und der verlassene Erdkegel als Denkmal des einst thätigen Lebens zurückbleiben.

Anhang zum vierten Kapitel.

Auszug aus einer Vorlesung über die Schwingungen und Töne, welche durch Berührung von Körpern von verschiedener Temperatur hervorgebracht werden.

(Gehalten in der Royal Institution, Freitag, 27. Januar 1854.)

Im Jahre 1805 brachte der Inspector eines der sächsischen Schmelzwerke, Schwartz, eine becherförmige Masse von heissem Silber auf einen kalten Amboss und fand zu seinem Erstaunen, dass musikalische Töne von der Masse ausgingen. Im August desselben Jahres besuchte Professor Gilbert von Berlin die Schmelzöfen und wiederholte den Versuch. Er bemerkte, dass die Töne von einer zitternden Bewegung des heissen Silbers begleitet waren, und dass mit den Schwingungen auch die Töne aufhörten. Professor Gilbert beschränkte sich darauf, diese Thatsachen zu erwähnen und machte keinen Versuch zu ihrer Erklärung.

Im Jahre 1829 war Mr. Arthur Trevelyan beschäftigt, Pech mit einem heissen Pflastereisen auszubreiten und lehnte dasselbe, als er bemerkte, dass das Eisen für seinen Zweck zu heiss war, schief gegen einen Bleiklotz, welcher zufällig zur Hand war. Ein schriller Ton, welchen er mit dem Pfiff einer kleinen Northumberländer Pfeife verglich, ging von der Masse aus, und bei näherem Zusehen bemerkte er, dass das erhitzte Eisen in Schwingung versetzt war. Er wurde durch Dr. Reid von Edinburg dazu bewogen, den Gegenstand weiter zu verfolgen, und die Ergebnisse seiner zahlreichen

Versuche wurden in späterer Zeit in den Verhandlungen der Royal Society zu Edinburg dem Drucke übergeben.

Am 1. April 1831 nahm Professor Faraday diese eigenthümlichen Töne und Schwingungen zum Gegenstand einer Freitagabendvorlesung in der Royal Institution. Er erweiterte und begründete noch näher die Erklärung der Töne, welche Trevelyan und Sir John Leslie gegeben hatten. Er schrieb die Töne dem Klopfen der heissen Masse auf die darunter befindliche kalte zu, wobei die Schläge häufig mit genügender Schnelligkeit erfolgen, um einen hohen musikalischen Ton hervorzubringen. Er betrachtete die abwechselnde Ausdehnung und Zusammenziehung der kalten Masse an denjenigen Punkten, wo der heisse Wipper sie berührte, als die die Schwingungen unterhaltende Kraft. Die Vorzüge des Bleies bei diesem Versuche schrieb er dessen grosser Ausdehnungsfähigkeit, vereint mit seiner Eigenschaft als schlechter Wärmeleiter, zu, denn die letztere verhindert die Wärme, sich schnell durch die Masse zu verbreiten.

Professor J. D. Forbes aus Edinburg, der bei dieser Vorlesung zugegen war, fühlte sich durch obige Erklärung nicht befriedigt und unternahm eine weitere Prüfung des Gegenstandes; die Ergebnisse derselben sind in einer sehr geistreichen Schrift niedergelegt, welche er im Jahre 1833 der Royal Institution zu Edinburg übergab. Er verwirft die von Professor Faraday gegebene Erklärung, und leitet die Schwingungen von einer „neuen Art von mechanischer Wirkung der Wärme“ ab, nämlich von innerem Rückstoss, welchen die Wärme selbst bei dem Uebergange von einem guten zu einem schlechten Leiter ausübt. Diesen Schluss gründet Professor Forbes auf eine Anzahl allgemeiner, von ihm aufgestellter Gesetze. Erweisen sich diese Gesetze als richtig, so haben wir einen grossen Schritt in der Erkenntniss der inneren Natur der Wärme gemacht, und diese Erwägung war auch der hauptsächlichste Beweggrund des Vortragenden bei der Wiederaufnahme der Untersuchungen über diesen Gegenstand.

Er hatte bereits einige Versuche angestellt, ohne zu wissen, dass Seebeck sich schon näher mit dem Gegenstand

beschäftigt habe, bis Professor Magnus in Berlin ihn mit dieser Thatsache bekannt machte. Er ersah denn auch aus Seebeck's interessanter Schrift, dass viele der Resultate, welche er erst noch zu suchen beabsichtigte, bereits gefunden waren. Der noch nicht berührte Theil des Gegenstandes war jedoch noch von genügendem Interesse, um ihn zu veranlassen, seinem ursprünglichen Plane treu zu bleiben.

Die allgemeinen Gesetze von Professor Forbes wurden der Reihe nach einer Prüfung durch Versuche unterzogen. Das erste unter diesen Gesetzen behauptet: „dass die Schwingungen niemals zwischen Substanzen derselben Art zu Stande kommen.“ Der Vortragende fand dies im Allgemeinen bestätigt, wenn der heisse Wipper auf einem Klotz oder auf der Kante einer dicken Platte desselben Metalles ruhte. Allein die Sachlage änderte sich vollkommen, sobald eine dünne Metallplatte benutzt wurde. Demzufolge gerieth ein kupferner Wipper, wenn er auf die Kante eines Pennystückes gelegt wurde, nicht in dauernde Schwingung; sobald jedoch die Münze mittelst eines Hammers breit geklopft worden war, so dass sie eine dünne, scharfe Kante darbot, wurden die Schwingungen andauernd. Während es nicht gelang, einen silbernen Wipper auf der Kante von einem Halbkronenstück in dauernde Schwingung zu versetzen, vibrirte derselbe andauernd auf der Kante eines Sixpence. Ein eiserner Wipper gab andauernde Schwingungen auf der Klinge eines gewöhnlichen Tischmessers ab. Ein flacher Messingwipper, welcher auf den Spitzen zweier gewöhnlicher Stecknadeln ruhte, und dessen Griff passend unterstützt war, ergab deutliche Schwingungen. Bei diesen Versuchen waren die Platten und Stifte in einem Schraubstocke befestigt, und es ergab sich, dass, je dünner die Platte innerhalb der Grenzen ihrer Unbiegsamkeit war, desto entschiedener und auffallender war auch der Erfolg. Wir hatten demnach Schwingungen von Eisen auf Eisen, von Kupfer auf Kupfer, von Messing auf Messing, von Zink auf Zink, von Silber auf Silber und von Zinn auf Zinn erlangt.

Das zweite von Professor Forbes festgesetzte Gesetz ist: „Beide Substanzen müssen metallisch sein.“ Dieses

Gesetz zog zuerst die Aufmerksamkeit des Vortragenden auf sich. Er hatte nämlich im Verlauf einer gleichartigen Untersuchung entdeckt, dass gewisse nicht metallische Körper mit einer viel stärkeren Leitkraft versehen sind, als man bisher annahm, und er fasste den Gedanken, dass diese Körper bei geeigneter Behandlung an Stelle von Metallen zur Hervorbringung der Schwingungen verwendet werden könnten. Diese Voraussetzung bestätigte sich. Silber-, Kupfer- und Messingwipper ergaben deutliche Töne, wenn man sie auf die natürliche Kante von einem Prisma aus Bergkrystall legte; auf der scharfen Kante eines Würfels von Flussspath wurden die Töne noch musikalischer; auf einem Stück Steinsalz wurden die Schwingungen sehr kräftig. Es giebt überhaupt kaum eine andere Substanz, sei sie nun metallisch oder unmetallisch, worauf man so leicht und sicher Schwingungen erlangen könnte, wie auf dem Steinsalz. In den meisten Fällen ist eine hohe Temperatur zu der Erzeugung dieser Töne nöthig, allein bei dem Steinsalz braucht die Temperatur die des Blutes nicht zu üersteigen. So stellte sich also eine neue und eigenthümliche Eigenschaft bei dieser an und für sich schon bemerkenswerthen Substanz heraus. Wir brauchen hier keine vollständige Aufzählung der verschiedenen Mineralien, womit der Versuch unternommen wurde, zu geben. Mehr als zwanzig nicht metallische Substanzen sind durch den Vortragenden untersucht, und deutlich wahrnehmbare Schwingungen bei jeder derselben erzielt worden.

Das dritte allgemeine Gesetz besagt, dass „die Schwingungen mit einer Intensität, welche proportional ist (wenigstens innerhalb gewisser Grenzen) dem Unterschiede des Wärmeleitungsvermögens der beiden Metalle, eintreten, wobei dasjenige Metall, welches das geringere Leitungsvermögen hat, das kältere sein muss.“

Der in dem ersten Gesetz angeführte Beweis scheint auch dieses unhaltbar zu machen, denn wäre die Intensität der Schwingungen proportional dem Unterschied des Leitungsvermögens, so sollten da, wo keine solche Unterschiede vorhanden sind, auch keine Schwingungen vorhanden sein. Die

von Professor Forbes aufgestellte Bedingung wurde jedoch umgestossen. Silber ist der beste Leiter; ein Streifen dieses Metalles wurde in einem Schraubstock befestigt, und heisse Wipper von Messing, Kupfer und Eisen wurden der Reihe nach auf seine Kante gelegt, und deutliche Schwingungen wurden bei Allen erzielt. Es wurden auch Schwingungen mittelst eines Messingwippers hervorgebracht, welcher auf der Kante eines halben Sovereign ruhte. Dieser und andere Versuche beweisen, dass nicht nothwendig das kalte Metall der schlechte Leiter sei, wie oben das dritte allgemeine Gesetz behauptet. Unter den Metallen fand Professor Forbes Antimon und Wismuth vollkommen unthätig, während der Vortragende bei beiden Substanzen musikalische Töne erzielte.

Wie bereits oben bemerkt, schrieb Professor Faraday den Vorzug des Bleies als kalten Blockes seiner grossen Ausdehnungsfähigkeit im Verein mit seiner Eigenschaft eines schlechten Wärmeleiters zu. Professor Forbes tritt gegen diese Annahme, welche er als einen „augenscheinlichen Irrthum" bezeichnet, in geistreicher und scheinbar unwiderleglicher Weise auf. Die Schwingungen, so versichert er, beruhen auf dem Temperaturunterschiede, welcher zwischen dem Wipper und dem Klotze besteht; wenn letzterer ein schlechter Leiter ist und die Wärme an seiner Oberfläche zurückhält, so streben die beiden sich berührenden Flächen auf dieselbe Temperatur zu kommen, und so die Schwingungen zu hemmen anstatt dieselben zu vermehren. Ferner: je grösser die Wärmemenge ist, welche während der Berührung von dem Wipper auf den Klotz übergeht, desto grösser muss die Ausdehnung sein, und daher muss, wenn die Schwingungen dieser Ursache zuzuschreiben sind, die Wirkung dann am grössten sein, wenn der Klotz der bestmögliche Leiter ist. Allein Professor Forbes scheint in dieser Begründung das Wort „Ausdehnung" in zwei verschiedenen Bedeutungen genommen zu haben. Die Ausdehnung, welche die Schwingung hervorruft, besteht, wie Seebeck gezeigt hat, in der plötzlichen Hebung des Punktes, wo der heisse Wipper mit der kalten, darunter befindlichen Masse in Berührung kommt; aber die Ausdeh-

nung als Folge der guten Leitung würde eine Ausdehnung der allgemeinen Masse sein. Gesetzt, die leitende Kraft des Klotzes sei unendlich — d. h., die durch den Wipper mitgetheilte Wärme verbreite sich augenblicklich durch den Klotz in gleichförmiger Weise — so würden die örtlichen Ausdehnungen am Berührungspunkte fehlen, und keine Schwingungen würden möglich sein, obgleich die allgemeine Ausdehnung sehr bedeutend sein könnte. Die unvermeidliche Folge guter Leitung ist eine plötzliche Entziehung der Wärme von dem Berührungspunkte des Wippers und der darunter befindlichen Substanz, und der Vortragende sah dies als den Grund an, warum es Professor Forbes nicht glückte, Schwingungen zu erhalten, wenn das kalte Metall ein guter Leiter war. Er benutzte Klötze, und die Entziehung der Wärme vom Berührungspunkte durch die umliegende Metallmasse war plötzlich genug, um die örtliche Erhebung zu beseitigen, auf welcher die Schwingungen beruhen.

Auszug aus einer Abhandlung über einige physikalische Eigenschaften des Eises *).

Bei der letzten Versammlung der British Association legte Herr James Thomson eine sehr interessante Abhandlung vor, worin er das Zusammenfrieren zweier Eisstücke bei 32° F. in folgender Weise erklärte: „Die zwei Stücke Eis werden an ihrer Berührungsstelle aneinander gepresst, und werden an dieser Stelle, in Folge des Druckes, theilweise schmelzen und eine niedrigere Temperatur annehmen, und die durch die Schmelzung sich entwickelnde Kälte wird einen Theil der zwischen den Stücken befindlichen Flüssigkeit zum Gefrieren bringen."

Ich bin weit davon entfernt, es zu bestreiten, dass unter geeigneten Bedingungen die Ursache, welche Herr Thomson bespricht, in Wirkung tritt; allein meiner Ansicht nach

*) Phil. Trans. 1858, p. 225.

sind die Thatsachen hiermit noch nicht erklärt, denn ein Gefrieren findet auch statt ohne Einwirkung irgend welchen Druckes, durch welchen der von Herrn Thomson erwähnte Vorgang in merklicher Weise hervorgerufen werden könnte. Es ist nicht nöthig, die Eisstücke zusammenzupressen; sie gefrieren auch, wenn man ein Stück einfach auf das andere legt. Auch andere Substanzen ausser dem Eise können an das Eis festfrieren. Wenn man ein Tuch um ein Stück Eis von 32° wickelt, so werden Eis und Tuch zusammenfrieren. Flannel ist hierzu noch geeigneter. Ein Ende Flannel, welches um ein Stück Eis gewickelt wird, friert zuweilen so fest an dieses an, dass man es mit Gewalt davon losreissen muss. Ebenso frieren Wolle, Baumwolle und Haare am Eise fest ohne Mithülfe eines Druckes, welcher die von Professor Thomson bezeichnete Ursache in merkliche Action bringen würde.

Es giebt jedoch eine Anzahl von Vorgängen, zu deren Erklärung die Erniedrigung des Gefrierpunktes des Wassers durch Druck füglich angewendet werden kann. Die folgende Angabe ist durch mehr als funfzig Versuche bestätigt, welche mit Eis aus den verschiedensten Orten angestellt wurden. Ein 2 Zoll hoher und 1 Zoll dicker Eiscylinder wurde zwischen zwei Tafeln von Buchsbaumholz gelegt und einem allmälig sich steigernden Drucke ausgesetzt. Wenn man senkrecht gegen die Axe blickte, sah man, dass trübe Linien sich quer durch den Cylinder zogen; schräg gegen den Cylinder blickend fand man, dass diese Linien den Durchschnitt von dunkeln, nebligen Flächen bildeten, welche sich durch den Cylinder hinzogen und sein Aussehen dem eines Gypskrystalles sehr ähnlich machte, dessen Spaltflächen durch eine äussere Gewalt aus ihrem optischen Zusammenhang gedrängt worden sind.

Fig. 40 stellt den Cylinder senkrecht gegen seine Axe betrachtet und Fig. 41 denselben Cylinder schräg betrachtet dar.

Um zu erfahren, ob die bei diesem Versuch zu Tage getretene Trennung des optischen Zusammenhanges einem Eindringen von Luft zwischen den getrennten Eisflächen zuzu-

schreiben sei, wurde ein Eiscylinder von 2 Zoll Höhe und 1 Zoll Dicke in ein Kupfergefäss gesetzt, welches mit eiskaltem Wasser angefüllt war. Der Eiscylinder ragte $^1/_2$ Zoll

Fig. 40.



Fig. 41.



über die Oberfläche des Wassers hervor. Nachdem das Kupfergefäss auf eine Holzplatte gesetzt und eine zweite Platte auf den Eiscylinder gelegt worden war, wurde das Ganze einem Drucke ausgesetzt. Als die trüben Flächen sich in dem das Wasser überragenden Eise genügend gebildet hatten, wurde der Cylinder herausgenommen und untersucht. Die Trennungsflächen erstreckten sich über die ganze Höhe des Cylinders genau ebenso, als wäre er in der freien Luft gepresst worden.

Ein Eindringen von Luft in das Gewebe des Eises konnte jedoch noch bei dem Herausnehmen des Cylinders aus dem Gefässe stattgefunden haben. Ich setzte deshalb einen Eiscylinder von 2 Zoll Höhe und 1 Zoll Dicke in ein starkes Glasgefäss, welches mit eiskaltem Wasser angefüllt war. Das Ganze wie bei dem letzten Versuche zusammenpressend, gewahrte ich, dass die Trennungsflächen sich unter der Flüssigkeit eben so deutlich bildeten, als zuvor in der freien Luft.

Diese Flächen rühren vom Drucke her und nicht von einem Auseinanderbersten der Masse wegen zu grosser Spannung, und sie bilden sich am deutlichsten da, wo der Druck möglichst gross ist, ohne dass es zum Zerbrechen kommt. Ein cylindrisches Stück Eis, dessen eine Endfläche nicht pa-

rallel der andern war, wurde zwischen Holzplatten gebracht und einem Drucke ausgesetzt. Fig. 42 zeigt die Anordnung dieses Versuches. Die Wirkung desselben ist in Fig. 43

Fig. 42.

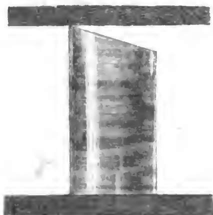
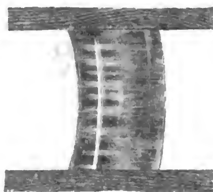


Fig. 43.



anschaulich gemacht. Die Spaltflächen haben sich der Seite entlang gebildet, welche dem Drucke ausgesetzt war.

Zuweilen beginnen die Spaltflächen im Mittelpunkt des Cylinders. Zuerst wird eine trübe Stelle sichtbar, welche sich bei fortdauerndem Drucke ausdehnt, bis sie den ganzen Querschnitt des Cylinders umfasst.

Als ich diese Spaltflächen mittelst einer Loupe untersuchte, schienen sie mir aus sehr winzigen Wassertheilchen zusammengesetzt zu sein, ähnlich denjenigen, welche auf einer glatten, kalten Fläche beim Daraufhauchen entstehen. Wären es luftleere oder mit Luft gefüllte Flächen, so müssten sie aus optischen Gründen ein viel mehr in die Augen fallendes Ansehen haben, als sie es in Wirklichkeit darbieten.

Ein concaver Spiegel wurde so gestellt, dass diffuses Tageslicht voll auf den unter Druck befindlichen Cylinder geworfen wurde. Betrachtete man die sich ausdehnenden Spaltungen durch ein Vergrösserungsglas, so erschienen sie in einem Zustande äusserster Bewegung, was wahrscheinlich der Molekularspannung der einzelnen Wassertheilchen zuzuschreiben war. Diese Bewegung folgte unmittelbar hinter der Kante der Spaltfläche, während diese sich durch das Eis verbreitete. Einige Male bemerkte ich, dass die nebligen Flächen Ausläufer, welche offenbar Flüssigkeiten enthielten, durch die Masse ausschickten. Dieselben bildeten eine Art

von negativer Krystallisation, indem sie genau die Form der krystallinischen Dornen und Stacheln zeigten, wie solche sich bei dem Gefrieren des Wassers auf einer Glasfläche bilden. Ich habe also keinen Zweifel mehr, dass diese Spaltflächen durch das Flüssigwerden der festen Masse entstehen, in einer Richtung, die perpendicular gegen die Richtung des Druckes läuft. Die Spaltflächen entstehen sehr leicht, wenn sie mit den Gefrierflächen übereinstimmen. Durch Sorgfalt gelang es mir, in einigen Fällen eine ähnliche Wirkung bei Spaltflächen, welche zu den Gefrierflächen im rechten Winkel standen, hervorzubringen; doch war es schwierig und unsicher. Die Spaltungen konnten da stets innerhalb der Scheibenebene entwickelt werden, wo man die zuvor erwähnten flüssigen Scheiben wahrnahm *).

*) Die Theorie der Regelation des Eises erlaubt, wie ich glaube, eine ausgedehntere Anwendung der von Herrn J. Thomson aufgestellten Erklärung, als Herr Tyndall sie in diesem Kapitel gegeben hat. Darüber siehe meine „Populäre wissenschaftliche Vorträge: 1. Heft. Braunschweig, bei Friedr. Vieweg und Sohn; S. 117 bis 134“, und Herrn Tyndall's Entgegnung in „Phil. Mag. S. 4. Vol. XXX, p. 393 bis 407“ beides mit einer nochmaligen Erwiederung von meiner Seite auch in der „Revue des Cours scientifiques par Mrs. Yung et Alglave 3me année, p. 433 bis 452“, übersetzt. Uebrigens erkenne ich an, dass die Frage über die Richtigkeit der einen oder anderen Erklärung noch eine offene sei, und habe diese Bemerkung nur gemacht, damit mein Schweigen nicht als ein Aufgeben meiner früheren Behauptungen angesehen werde.

H. Helmholtz.

Fünftes Kapitel.

Anwendung der dynamischen Theorie auf die Erscheinungen der specifischen und latenten Wärme. — Definition der Arbeit, Arbeitsvorrath und lebendige Kraft. — Arbeitsleistung der Molekularkräfte. — Experimentelle Erläuterungen über specifische und latente Wärme. — Arbeitsäquivalente der Verbindung, Verdichtung und des Gefrierens beim Wasser. — Feste Kohlensäure. — Der sphäroidale Zustand der Flüssigkeiten. — Ein Sphäroid auf seinem eigenen Dampfe schwebend. — Das Gefrieren von Wasser und Quecksilber in einem rothglühenden Schmelztiegel.

---

152. Bei schwierigen Unternehmungen in den Alpen wird der erfahrene Bergsteiger seine Tagesaufgabe langsamen Schrittes beginnen, um in der wirklichen Prüfungsstunde seine Kräfte von der vorausgegangenen Anstrengung gestählt aber nicht geschwächt zu finden. Wir sind heute im Begriffe, eine schwierige Besteigung zu unternehmen, und ich schlage vor, dass wir sie in dieser Weise beginnen; also nicht in einem Anfluge von Begeisterung, der bei der Arbeit erlischt, sondern festen und geduldigen Sinnes, ohne von den aufsteigenden Schwierigkeiten zurückgeschreckt zu werden.

153. Ich habe hier ein bleiernes Gewicht, das an einer Schnur befestigt ist, welche über eine Rolle an der Decke dieses Zimmers läuft. Wir wissen, dass die Erde und das Gewicht gegenseitige Anziehungskraft besitzen; das Ge-

wicht ruht jetzt auf der Erde, und übt einen gewissen Druck auf deren Oberfläche aus. Die Erde und das Gewicht berühren sich hier; ihre gegenseitige Anziehungskraft ist so viel als möglich befriedigt und Bewegung zu gegenseitiger Annäherung ist nicht mehr möglich. Was die Anziehung der Schwerkraft betrifft, so hört die Möglichkeit einer Bewegungserzeugung auf, sobald die beiden sich anziehenden Körper in wirkliche Berührung kommen.

154. Ich ziehe dieses Gewicht in die Höhe. Es hängt jetzt 16 Fuss über dem Boden, und verweilt hier vorläufig eben so regungslos wie zuvor auf der Erde; allein indem ich einen Zwischenraum zwischen den Boden und das Gewicht brachte, habe ich die Verhältnisse des letzteren total geändert. Dadurch, dass ich das Gewicht hob, habe ich ihm eine Bewegung erzeugende Kraft verliehen. Das Gewicht kann jetzt eine Wirkung ausüben, welche ihm unmöglich war als es auf dem Boden lag; es kann fallen und während seines Herabfalles eine Maschine in Bewegung setzen oder andere Arbeit leisten. Wir wollen die Fähigkeit Arbeit zu leisten im Allgemeinen mit dem kurzen und geeigneten Ausdruck Kraftvorrath (Energie) bezeichnen und könnten auch recht gut den Ausdruck mögliche Arbeit gebrauchen, um damit die Triebkraft zu bezeichnen, die unser aufgezogenes Gewicht leisten könnte, die es aber noch nicht durch wirklichen Fall geleistet hat. Dieselbe ist von einigen ausgezeichneten Forschern potentielle Energie genannt worden. Diese potentielle Energie oder Arbeitsleistungsfähigkeit rührt in dem vorliegenden Falle von dem Zuge der Schwere her, welcher Zug jedoch noch nicht in Bewegung übergegangen ist. Nun lasse ich den Strick los; das Gewicht fällt und erreicht den Boden mit einer Geschwindigkeit

von 32 Fuss in der Sekunde. Während seines Falles wurde es in jedem Augenblick durch die Schwere abwärts gezogen, und seine endliche Bewegungskraft ist die Summe aller dieser einzelnen Wirkungen. Während des Fallens wird der Arbeitsvorrath des Gewichtes wirksam. Er könnte nun wirkliche Arbeit genannt werden im Gegensatze zur möglichen Arbeit. Er ist auch dynamische Energie im Gegensatz zur potentiellen Energie genannt worden; oder wir können auch die Arbeitskraft, mit der das Gewicht herabsinkt, Kraft der Bewegung nennen. Die Hauptsache ist nun, dass Sie lernen einen Arbeitsvorrath von wirklicher Arbeitsleistung zu unterscheiden*). Wenn ich also in Zukunft die Ausdrücke mögliche Arbeit oder Arbeitsvorrath oder Kraft der Bewegung gebrauche, so werden Sie ohne Schwierigkeit deren Sinn begreifen.

155. Unser Gewicht ging von einer Höhe von 16 Fuss aus; richten wir unsere Aufmerksamkeit auf dasselbe, nachdem es den ersten Fuss seines Falles vollbracht hat. Der Gesammtzug, wenn ich mich dieses Ausdruckes bedienen darf, der bei dem Fall in Wirkung treten soll, ist nun durch eine Quantität verringert worden, welche zu seinem Fall durch einen Fuss verwendet wurde. Auf

---

*) Die englischen Schriftsteller, sowie Herr Tyndall selbst, gebrauchen in der Regel die von Rankine gegebenen Benennungen potentielle Energie für die noch nicht wirksam gewordene und actuelle Energie für die wirksam gewordene Arbeitskraft. Im Deutschen hat Helmholtz in seiner Abhandlung über „Die Erhaltung der Kraft" (1847) dafür die Ausdrücke Quantität der Spannkräfte und Quantität der lebendigen Kräfte angewendet. Wir werden, wo es nöthig ist diese Begriffe streng zu unterscheiden, diese letztere Benennung oder auch die gleichgeltenden Ausdrücke Vorrath von Arbeitskraft und geleistete Arbeit brauchen. Anmerkung des Uebersetzers.

der Höhe von 15 Fuss besitzt es um einen Fuss weniger Arbeitsvorrath, als es bei 16 Fuss Höhe besass; allein bei 15 Fuss besitzt es eine äquivalente Quantität von wirksam gewordener oder lebendiger Kraft, welche, in entgegengesetzter Richtung angewendet, das Gewicht wieder auf seine ursprüngliche Höhe heben würde; demnach, wenn der Arbeitsvorrath verschwindet, tritt lebendige Kraft dafür als Arbeitsleistung auf. Die Summe dieser beiden Arbeitsgrössen bleibt sich durch das ganze Weltall gleich. Es ist eben so unmöglich Kraft oder Arbeit zu erschaffen oder zu vernichten, als Stoff zu erschaffen oder zu vernichten; und alle Erscheinungen des materiellen Universums bestehen einzig in veränderten Erscheinungsweisen der Kraft. Das hier auseinandergesetzte Princip heisst das Gesetz von der Erhaltung der Kraft.

156. Es ist jetzt noch nicht an der Zeit von organischen Vorgängen zu sprechen; allein wenn wir den Zustand der Moleküle meines Armes untersucht hätten, während ich jenes Gewicht in die Höhe zog, so würden wir gefunden haben, dass durch die Vollziehung dieses mechanischen Actes eine entsprechende Quantität von Kraft in anderer Gestalt verbraucht worden ist. Diese Kraft ist, wie wir später sehen werden, die Wärme. Würde das Gewicht durch eine Dampfmaschine gehoben, so würde dabei eine der geleisteten Arbeit genau äquivalente Wärmemenge verschwinden. Das Gewicht wiegt ungefähr ein Pfund, und um dasselbe 16 Fuss hoch zu heben, würde man ungefähr so viel Wärme brauchen, als um einen Kubikfuss Luft um 1° F. zu erwärmen. Auf der anderen Seite würde dieselbe Wärmemenge durch das Herabfallen des Gewichtes von einer Höhe von 16 Fuss erzeugt werden können.

156 a. Man wird leicht einsehen, dass eine beträchtlich viel grössere Wärmemenge verbraucht werden würde, um das Gewicht hinaufzuziehen, wenn dessen Schwerkraft beträchtlich viel grösser wäre. Je grösser die Anziehungskraft wäre, desto mehr Wärme würde man brauchen, um sie zu überwinden; und umgekehrt, desto grösser wäre die Wärmemenge, welche der fallende Körper bei seinem Zusammenstoss mit der Erde entwickeln würde.

157. Nachdem wir gesehen haben, dass Wärme verbraucht wird, wenn ein Gewicht vermittelst dieses Agens von der Erde getrennt wird, und dass die verbrauchte Wärmemenge von der Energie der überwundenen Anziehungskraft abhängt, so müssen wir die Bedeutung dieser Begriffe erweitern, indem wir sie von wahrnehmbaren auf unwahrnehmbare Massen übertragen. Für den Verstand ist es nicht schwieriger, sich die Trennung zweier Atome, die sich gegenseitig anziehen, zu denken, als sich die Trennung des Gewichtes von der Erde vorzustellen. Ich habe schon früher Gelegenheit gehabt, von der Intensität der Molekularkräfte zu sprechen, und hier müssen wir auf den Gegenstand zurückkommen. Die enge aneinander gefügten Atome der Körper üben, obwohl wir uns dieselben nicht als sich gegenseitig berührend vorstellen können, trotzdem eine ungeheure Anziehungskraft auf einander aus. Es würde eine ganz unglaubliche Menge von gewöhnlicher mechanischer Kraft erfordern, um die Zwischenräume zwischen den Atomen eines festen oder flüssigen Körpers so zu erweitern, dass sein Volumen in irgend erheblicher Weise vergrössert würde. Ebenso würde eine sehr bedeutende Kraft dazu gehören, um die Theilchen eines festen oder flüssigen Körpers so zusammenzupressen, dass derselbe merklich an Umfang ver-

löre. Ich habe umsonst versucht durch Druck die Dichtigkeit eines weichen Metalles dauernd zu vergrössern. Das Wasser, das der Hand, welche man in dasselbe eintaucht, so leicht nachgiebt, wurde lange Zeit hindurch für gänzlich incompressibel gehalten. Man liess sehr bedeutende Kräfte darauf einwirken; allein anstatt sich zusammenzuziehen, sickerte es durch die Poren des Metallgefässes, worin es enthalten war, und lagerte sich wie Thau auf dessen Oberfläche *). Durch einen fein berechneten und hinreichend gewaltigen Apparat können wir jetzt Wasser zusammenpressen; allein die dazu nothwendige Kraft ist ausserordentlich gross.

*) Ich habe meinem Freunde Herrn Spedding den folgenden Auszug in Bezug auf dieses Experiment zu verdanken: „Es ist sicher, dass die undichteren Körper (wie z. B. Luft) einen bedeutenden Grad von Zusammenziehung erleiden können, wie bereits erwähnt wurde; dass jedoch greifbare Körper (wie z. B. Wasser) viel schwieriger und viel weniger zusammenzudrücken sind. In wie weit sie überhaupt verdichtet werden können, habe ich in dem folgenden Versuch ermittelt. Ich liess eine hohle Bleikugel anfertigen, welche ungefähr zwei Schoppen Wasser fasste und von genügender Stärke war, um einer bedeutenden Gewalt zu widerstehen; nachdem ich ein Loch in dieselbe gebohrt hatte, füllte ich sie mit Wasser an, und verstopfte alsdann das Loch mit geschmolzenem Blei, so dass die Kugel wieder ganz fest war. Ich plattete alsdann die zwei entgegengesetzten Seiten der Kugel mittelst eines schweren Hammers ab, wodurch das Wasser nothwendig gezwungen war einen kleineren Raum einzunehmen, da die Kugel bei gleicher Oberfläche den grössten Rauminhalt hat; als das Hämmern keinen weiteren Einfluss auf das Zusammenschrumpfen des Wassers ausübte, benutzte ich eine Presse, bis das Wasser, das stärkeren Druck nicht ertragen konnte, durch das feste Blei gleich einem feinen Thau hindurch schwitzte. Ich berechnete hierauf den Raum, welcher durch den Druck verloren gegangen war, und schloss daraus, dass der Verlust das Maass der Pressung sei, welche das Wasser erleidet, wenn es sich unter gewaltigem Drucke befindet." (Baco's Novum Organum, Ausgabe von 1620 Bd. IV p. 209) Anmerkung von R. Leslie Ellis vol. I. p. 324: „Es ist dies vielleicht der bedeutendste unter Baco's Versuchen, und es ist sonderbar, dass er so wenig von späteren Schriftstellern beachtet wurde. Fast 50 Jahre nach dem Erscheinen des „Novum Organum"

158. Wenn wir Molekularkräfte zu überwinden wünschen, müssen wir sie also durch ihresgleichen angreifen. Die Wärme vollbringt, was mechanische Kraft, wie sie gewöhnlich gehandhabt wird, nicht auszuführen vermag. Erwärmte Körper dehnen sich aus, und um diese Ausdehnung hervorzubringen, muss die Anziehungskraft der Körperatome überwunden werden; und bei der Grösse der zu überwindenden Anziehungskräfte können wir schliessen, dass die Wärmemenge, welche zu deren Bezwingung nöthig ist, von entsprechender Grösse sein muss.

159. Und nun muss ich um Ihre volle Aufmerksamkeit bitten. Ich halte ein Stück Blei in meiner Hand; gesetzt nun, eine gewisse Wärmemenge würde dem Blei mitgetheilt, was wird aus dieser Wärme innerhalb der Substanz? Sie wird zu zwei getrennten Zwecken verwendet werden und zwei verschiedene Arten von Arbeit leisten. Ein Theil derselben erregt diejenige Art der Bewegung, welche die Temperatur des Bleies erhöht, und welche mittelst des Thermometers wahrnehmbar ist; aber ein anderer Theil derselben zwingt die Atome des Bleies neue Stellungen einzunehmen, und dieser Theil ist als

---

wurde ein Bericht über einen ähnlichen Versuch durch Megalotti, dem damaligen Secretair der Akademie del Cimento in Florenz, veröffentlicht; und derselbe ist seitdem unter dem Namen „Florentiner Experiment“ allgemein bekannt worden. Ich citire den Bericht darüber: „Facemmo lavorar etc“.

Der Verfasser bemerkt hierauf, dass zwar nicht die absolute Incompressibilität des Wassers durch diesen Versuch bewiesen wird, sondern nur dass das Wasser auf diese Weise nicht zusammengepresst werden kann; aber der Versuch ist auch aus anderen Gründen unentscheidend. Leibnitz sagt zwar (in den „Nouveaux Essais“ p. 229; Erdmann) bei Besprechung des Florentiner Experimentes, dass die Kugel von Gold gewesen sei, wogegen die Florentiner Akademiker ausdrücklich angegeben haben, weshalb sie Silber dem Golde sowohl als dem Blei vorzogen.

Wärme verloren. Das Auseinanderdrängen der Bleiatome, welches im Widerstreite gegen ihre wechselseitige Anziehung geschieht, ist in diesem Falle genau dasselbe, wie das Heben unseres Gewichtes im Widerstreite gegen die Schwerkraft, und in beiden Fällen ist ein Wärmeverlust das Resultat. Ich will versuchen den Vergleich zwischen beiden Vorgängen noch genauer zu machen. Angenommen, ich hätte eine bestimmte Quantität von Kraft auf die Hebung unseres Gewichtes zu verwenden, und ich theilte diese Kraft in zwei Theile, deren einen ich zur wirklichen Hebung des Gewichtes verwendete, während ich den anderen dazu benutzte, das Gewicht während seines Aufsteigens wie ein Pendel in Schwingungen zu versetzen, welche Schwingungen überdies allmälig schneller und grösser würden: so hätten wir alsdann das Analogon dessen, was geschieht, wenn Wärme dem Blei mitgetheilt wird. Die Atome werden auseinander gedrängt; allein während ihres Zurückweichens vibriren sie mit allmälig zunehmender Heftigkeit. Die mitgetheilte Wärme scheidet sich also in eine Quantität aufgehäufter Spannkräfte und in eine Quantität lebendiger Kraft, welche man als eine Art von atomischer Musik ansehen kann, und der musikalische Theil vermag allein auf unsere Thermometer einzuwirken oder unsere Nerven zu erregen.

160. In diesem Falle verleiht also die Wärme den Atomen nicht nur lebendige Kraft, sondern vollbringt auch noch, was man innere Arbeit*) nennen könnte; d. h. sie leistet Arbeit innerhalb des erwärmten Körpers, indem sie die Atome zwingt, neue Stellungen einzunehmen. Wenn der Körper sich abkühlt, so kommen

*) Siehe die ausgezeichneten Abhandlungen von Clausius im Philosophical Magazine.

die durch den Erwärmungsprocess überwundenen Kräfte zur Wirkung, und die Wärme, welche durch das Auseinanderdrängen der Atome verbraucht wurde, wird nun bei dem Zusammenfallen derselben wieder freigegeben.

161. Die Chemiker haben das relative Gewicht der Atome von verschiedenen Substanzen bestimmt. Angenommen, das Gewicht eines Wasserstoffatoms sei 1, so ist das Gewicht eines Sauerstoffatoms 16. Man wird deshalb, um ein Pfund Wasserstoff zusammenzubringen, 16 Mal so viel Atome Wasserstoff nehmen müssen, als Sauerstoffatome zu einem Pfund Sauerstoff nöthig wären. Die Zahl der zu einem Pfunde nöthigen Atome ist nothwendig umgekehrt proportional dem Atomgewichte. Wir kommen hier zu einem sehr feinen und wichtigen Ergebnisse. Sowohl die Versuche von Dulong und Petit, als diejenigen von Regnault und Neumann, machen es sehr wahrscheinlich, dass alle Atome der Elemente, gleichviel ob grosse oder kleine, schwere oder leichte, bei derselben Temperatur auch dieselbe Quantität derjenigen Kraft besitzen, welche wir Wärme nennen; indem die leichteren Atome durch Geschwindigkeit der Bewegung ersetzen, was ihnen an Masse abgeht. Also besitzt bei derselben Temperatur jedes Wasserstoffatom dieselbe bewegende Kraft als jedes Sauerstoffatom. Allein da ein Pfund Wasserstoff 16 Mal so viel Atome enthält als ein Pfund Sauerstoff, so muss es auch bei derselben Temperatur 16 Mal so viel Wärme enthalten.

162. Daraus folgt, dass man 16 Mal so viel Wärme brauchen würde, um ein Pfund Wasserstoff um einige Temperaturgrade — z. B. von 50° auf 60° — zu erhöhen, als ein Pfund Sauerstoff unter denselben Verhältnissen bedürfen würde. Umgekehrt wird ein Pfund Wasserstoff, das sich um 10° abkühlt, 16 Mal mehr Wärme abgeben,

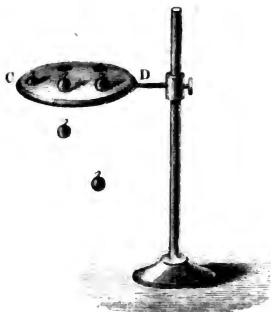
als ein Pfund Sauerstoff, dessen Temperatur um eben so viele Grade sinkt. Da das Atomgewicht des Stickstoffes 14 ist, so kommen wir durch dieselbe Folgerung zu dem Schlusse, dass ein Pfund Wasserstoff 14 Mal mehr Wärme enthält als ein Pfund Stickstoff.

163. Im Sauerstoff und im Wasserstoff ist jedoch keine merkliche „Innere Arbeit" zu vollziehen, indem hier keine Molekularanziehung von merklicher Bedeutung zu überwinden ist. Allein bei festen oder flüssigen Körpern haben wir ausser den Unterschieden, welche der Zahl der in der Gewichtseinheit vereinigten Atome zuzuschreiben sind, noch ausserdem die Unterschiede, welche von dem Verbrauch von Wärme durch innere Arbeit herrühren. Daraus geht hervor, dass die absoluten Wärmequantitäten, welche verschiedene Körper besitzen, durchaus nicht durch die Temperatur derselben angezeigt werden. Um zum Beispiel ein Pfund Wasser um einen Grad zu erwärmen, braucht man 30 Mal mehr Wärme, als um ein Pfund Quecksilber um ebensoviel zu erwärmen. Umgekehrt wird ein Pfund Wasser, wenn es um einen Grad sich abkühlt, 30 Mal mehr Wärme abgeben, als das Quecksilber unter denselben Umständen.

164. Lassen Sie mich durch ein einfaches Beispiel den Unterschied erläutern, der zwischen den einzelnen Körpern in Bezug auf die Wärmemenge, welche in ihnen enthalten ist, besteht. Ich habe hier eine Wachsscheibe von 6 Zoll Durchmesser und einem halben Zoll Dicke. Hier ist ein Gefäss, welches Oel enthält, das jetzt eine Temperatur von 180° C. besitzt. In diesem heissen Oel befindet sich eine Anzahl von Kugeln aus verschiedenem Metall: aus Eisen, Blei, Wismuth, Zinn und Kupfer. Gegenwärtig haben sie alle dieselbe Temperatur, nämlich die des Oeles. Ich hebe sie aus dem Oele heraus und lege sie auf

die Wachsscheibe *CD* (Fig. 44), welche auf dem Ringe eines Retortenhalters liegt; die Kugeln schmelzen das darunter befindliche Wachs und sinken in dasselbe ein. Allein sie sinken mit verschiedener Geschwindigkeit. Eisen und Kupfer arbeiten sich viel nachdrücklicher in die schmelzbare Masse ein, als die anderen; das Zinn folgt zunächst, während Blei und Wismuth ganz zurückbleiben. Jetzt ist das Eisen ganz hindurchgefallen; das Kupfer folgt, das untere Ende der Zinnkugel ragt noch aus der unteren Fläche des Wachses hervor, kann jedoch nicht weiter hindurchdringen, während das Blei und das Wismuth nur eine kleine Vertiefung hervorgebracht haben, indem sie kaum bis in die halbe Dicke des Wachses einsanken.

Fig. 44.



165. Wenn ich demnach ein gleiches Gewicht von verschiedenen Substanzen nehme, sie alle erwärme (sage auf 100°) und die genaue Wärmemenge bestimme, welche jede einzelne derselben beim Abkühlen von 100° auf 0° abgiebt, so muss ich für die verschiedenen Substanzen sehr verschiedene Wärmemengen finden. Einige bedeutende Forscher haben diese Aufgabe gelöst, indem sie die Zeit beobachteten, welche ein Körper zu seiner Abkühlung bedarf. Je grösser nämlich die Wärmemenge ist, welche die Atome besitzen oder erzeugen können, desto längere Zeit braucht der betreffende Körper, um abzukühlen. Die

relativen Wärmequantitäten, welche die verschiedenen Substanzen abgeben, sind auch in der Weise bestimmt worden, dass man sie, nachdem sie erwärmt worden waren, in kaltes Wasser tauchte, und die auf der einen Seite gewonnene und auf der anderen Seite verlorene Wärme beobachtete. Noch auf andere Weise ist die Aufgabe gelöst worden, indem man die Quantität von Eis bestimmte, welche von den verschiedenen Substanzen flüssig gemacht wurde, während diese sich von 100° C. auf 0° oder von 212° F. auf 32° abkühlten. Diese verschiedenen Methoden haben übereinstimmende Resultate geliefert. Nach dem berühmten französischen Naturforscher Regnault drücken die folgenden Zahlen die relativen Wärmequantitäten aus, welche von der Gewichtseinheit einer jeden der unten genannten Substanzen ausgegeben wurden, während sie sich von 98° C. auf 15° C. abkühlten.

Aluminium	0,2143	Natrium	0,2934
Antimonium	0,0508	Nickel	0,1086
Arsenik	0,0814	Osmium	0,0311
Blei	0,0314	Palladium	0,0593
Bor	0,2352	Phosphor (fester)	0,1887
Brom	0,1129	„ (amorpher)	0,1700
Cadmium	0,0567	Platina	0,0329
Cobalt	0,1067	Quecksilber	0,0333
Diamant	0,1469	Rhodium	0,0580
Eisen	0,1138	Schwefel (natürlicher)	0,1776
Gold	0,0324	„ (frisch geschmolz.)	0,2026
Jod	0,0541	Selen	0,0827
Iridium	0,0326	Silber	0,0570
Kalium	0,1696	Tellur	0,0474
Kiesel	0,1774	Thallium	0,0336
Kohlenstoff	0,2414	Wasser	1,0000
Kupfer	0,0952	Wismuth	0,0308
Lithium	0,9408	Wolfram	0,0334
Magnesium	0,2499	Zink	0,0955
Mangan	0,1217	Zinn	0,0562

Ein kurzer Blick auf diese Tabelle wird die Ursache erklären, weshalb die eisernen und kupfernen Kugeln durch das Wachs hindurchschmolzen, während die Blei- und Wismuthkugeln dieses nicht vermochten; ebenso wird daraus hervorgehen, dass Zinn die Stelle einnimmt, welche wir ihm nach unserem Versuch mit dem Stücke Wachs angewiesen haben, und dass Wasser mehr Wärme abgiebt als irgend eine andere Substanz auf unserer Liste.

166. Eine jede dieser Zahlen giebt das an, was man bisher die „specifische Wärme“ oder die „Wärmecapacität“ der Substanzen, denen sie beigefügt sind, nannte. Wie ich schon früher bemerkt habe, erklärten diejenigen, welche die Wärme als ein Fluidum ansahen, diese Unterschiede, indem sie sagten, dass einige Substanzen einen grösseren Wärmevorrath besässen, als andere. Wir können, ohne Schaden, die Benennungen „specifische Wärme“ und „Wärmecapacität“ auch ferner benutzen, nun wir die wirkliche Natur der durch diese Ausdrücke bezeichneten Vorgänge kennen. Es ist eine bemerkenswerthe Thatsache, dass die specifische Wärme in demselben Maasse zunimmt als das Atomgewicht abnimmt und umgekehrt, so dass das Product des Atomgewichts und der specifischen Wärme fast in allen Fällen eine merklich constante Quantität ist. Dies erläutert eine bereits gemachte Bemerkung, dass die leichteren Atome durch Geschwindigkeit ersetzen, was ihnen an Masse abgeht.

167. Die Bedeutung der Kräfte, welche in dieser Atombewegung und der inneren Arbeit thätig sind, ist ungeheuer gross, wenn man sie nach einem gewöhnlichen mechanischen Maassstab bemisst. Ich habe hier ein Pfund Eisen, welches sich, wenn man es von 0° C. auf 100° C.

erwärmt, ungefähr um $^1/_{800}$ des bei 0° besessenen Volumens ausdehnt. Diese Zunahme an Volumen würde auch dem schärfsten Auge entgehen; und doch ist, um seinen Atomen die Bewegung mitzutheilen, welche dieser Temperaturzunahme entspricht, und um sie durch den obenerwähnten kleinen Raum zu verschieben, eine Wärmemenge nöthig, welche hinreichend wäre, um circa acht Tonnen einen Fuss hoch zu heben. Die Schwerkraft verschwindet wahrhaft im Vergleich mit diesen Molekularkräften; der Zug, welchen die Erde auf das Pfundgewicht als eine Masse ausübt, ist wie Nichts im Vergleich mit dem gegenseitigen Zug von dessen eigenen Molekülen. Das Wasser giebt uns noch ein feineres Beispiel. Wasser dehnt sich aus bei Temperaturen über und unter 4° C. oder 39° F.; bei 4° C. erreicht es seine grösste Dichtigkeit. Gesetzt, ein Pfund Wasser würde von $3^1/_2$° C. auf $4^1/_2$° C. — das heisst um einen Grad — erwärmt, so würde sein Volumen bei beiden Temperaturen dasselbe bleiben: die Mittelpunkte der Atome würden hierbei nicht auseinander gedrängt worden sein und demnach ist bei unverändertem Volumen dem Wasser eine Wärmemenge zugeführt worden, welche mechanisch angewendet hinreichend wäre, um ein Gewicht von 1390 Pfund einen Fuss hoch zu heben. Die innere Arbeit, welche die Wärme hier leistet, besteht einfach darin, dass sie die Atome des Wassers rotiren macht. Sie trennt die anziehenden Pole der Atome durch eine tangentielle Bewegung, lässt jedoch ihre Centra auf derselben gegenseitigen Entfernung vorher und nachher. Die Vorstellungen, um welche es sich hier handelt, mögen nicht leicht sein für Diejenigen, welche an solche Studien nicht gewöhnt sind; allein Alle, welche die Geduld haben, eine genügende Zeit dabei zu verweilen, werden sich dieselben klar vergegenwärtigen können.

168. Wir müssen ferner bemerken, dass es auch noch andere Arten der inneren Arbeit giebt als die des Auseinanderschiebens der Atome. Eine ungeheure Quantität von innerer Arbeit kann unter Umständen geleistet werden, wo die Atomcentra sich einander nähern, anstatt sich von einander zu entfernen. Polarkräfte — die Kräfte, welche von bestimmten Punkten der Atome ausgehen und nach bestimmten Richtungen hin wirken — verleihen den Krystallen ihre symmetrische Gestalt; und das Ueberwinden dieser Kräfte kann, indem es mit einem Wärmeverbrauch verknüpft ist, auch zugleich von einer Verminderung des Volumens begleitet sein. Dies wird durch das Verhalten von Eis und Wismuth beim Flüssigwerden bewiesen.

169. Die wichtigsten Versuche über die specifische Wärme elastischer Flüssigkeiten verdanken wir Regnault. Er bestimmte die Quantitäten von Wärme, welche zur Erwärmung einmal gleicher Gewichte von Gasen und Dämpfen und dann auch gleicher Volumina derselben durch dieselbe Zahl von Thermometergraden nöthig sind. Wenn die specifische Wärme vom Wasser als 1 angenommen wird, so sind Folgendes einige der Ergebnisse dieser unschätzbaren Untersuchungen:

Einfache Gase.

	Specifische Wärme.	
	Gleiches Gewicht.	Gleiches Volumen.
Luft	0,237	
Sauerstoff	0,218	0,240
Stickstoff	0,244	0,237
Wasserstoff	3,409	0,236
Chlor	0,121	0,296
Brom	0,055	0,304

170. Wir sind bereits zu dem Schlusse gelangt, dass Wasserstoff bei gleichem Gewichte 16 Mal mehr Wärme besitzt als Sauerstoff, und 14 Mal mehr als Stickstoff, weil Wasserstoff aus 16 Mal so viel Atomen als ersterer und aus 14 Mal so viel als letzterer besteht. Hier finden wir diesen Schluss durch Versuche bewiesen. Es enthält nämlich ein gleiches Volumen aller dieser Gase stets dieselbe Zahl von Atomen, und daraus müsste man schliessen, dass die specifische Wärme gleicher Volumina immer genau gleich sein sollte. Sie ist auch wirklich bei Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff beinahe gleich. Dagegen finden wir, dass Chlor und Brom von den anderen elementaren Gasen sehr beträchtlich abweichen. Nun ist Brom ein Dampf und Chlor ein Gas, welches durch Druck leicht flüssig wird; deshalb ist in diesen beiden Fällen eine grosse Wärmemenge nöthig, um die gegenseitige Anziehungskraft der Atome, welche bei Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff unmerklich ist, zu überwinden. Die specifische Wärme von Chlor und Brom ist deshalb bei gleichem Volumen höher.

171. Gewisse einfache Gase vereinigen sich zu zusammengesetzten Gasen, ohne dass eine Veränderung des Volumens stattfände. So vereinigt sich ein Volumen Chlor mit einem Volumen Wasserstoff, um 2 Volumina salzsauren Gases zu bilden. In anderen Fällen ist die Vereinigung von einer Verminderung des Volumens begleitet: so vereinigen sich z. B. 2 Volumina Stickstoff mit einem Volumen Sauerstoff, um 2 Volumina Stickstoffoxydulgas zu bilden. Durch die Verbindung sind in diesem Falle 3 Theile zu 2 verdichtet worden. Regnault findet, dass die zusammengesetzten Gase, welche ihr Volumen nicht verändern, bei gleichem Volumen dieselbe specifische Wärme haben als Sauerstoff, Stickstoff und

Wasserstoff; während dies bei denjenigen, welche ihr Volumen verändern, nicht der Fall ist.

Zusammengesetzte Gase ohne Verdichtung.

	Specifische Wärme.	
	Gleiches Gewicht.	Gleiches Volumen.
Stickstoffoxyd . . .	0,232 . . .	0,241
Kohlenoxydgas . . .	0,245 . . .	0,237
Salzsaures Gas . . .	0,185 . . .	0,235

Die specifische Wärme gleicher Volumina dieser zusammengesetzten Gase ist dieselbe wie die der drei einfachen bereits erwähnten Gase.

172. Zusammengesetzte Gase; drei Volumina auf zwei verdichtet.

	Specifische Wärme.	
	Gleiches Gewicht.	Gleiches Volumen.
Kohlensäure	0,217 . . .	0,331
Stickstoffoxydulgas	0,226 . . .	0,345
Wasserdampf	0,480 . . .	0,299
Schweflige Säure	0,154 . . .	0,341
Schwefelwasserstoffgas	0,243 . . .	0,286
Schwefelkohlenstoff	0,157 . . .	0,412

173. Wir finden hier, dass die specifische Wärme gleicher Volumina weder gleich der der einfachen Gase, noch unter einander gleich ist. Es ist bemerkenswerth, dass die specifische Wärme des Wassers ungefähr doppelt so viel beträgt als die des Wasserdampfes, so wie auch doppelt so viel als die des Eises.

174. Die hohe specifische Wärme des Wassers hat eine wichtige Bedeutung, welche ich hier nicht übergehen will. Bei gleichem Gewichte ist die specifische Wärme des Wassers 1 und die der Luft 0,237. Deshalb könnte

ein Pfund Wasser, durch den Verlust eines Temperaturgrades ungefähr 4,2 Pfund Luft um einen Grad erwärmen. Allein das Wasser ist 770 Mal schwerer als die Luft; deshalb könnte bei gleichem Volumen ein Kubikfuss Wasser, mit Verlust von einem Temperaturgrade, 770 $\times$ 4,2 = 3234 Kubikfuss Luft um einen Grad erwärmen.

175. Hierbei müssen wir des grossen Einflusses gedenken, welchen der Ocean zur Milderung der Extreme des Klimas ausüben muss. Die Sommerhitze wird im Weltmeere aufgespeichert und während des Winters langsam abgegeben. Dies ist theilweise der Grund, warum Temperaturextreme in einem Inselklima nicht vorkommen. Der Sommer kann auf einer Insel niemals die brennende Hitze des continentalen Sommers erreichen; hingegen ist aber auch der Winter auf einer Insel niemals so streng als der des Continentes. An mehreren Orten des letzteren wachsen Früchte, welche bei unserem englischen Sommer nicht reif werden, allein in denselben Gegenden ist unser Immergrün unbekannt, weil es den dortigen Winter nicht überstehen kann. Im Allgemeinen ist der Winter in Irland milder als der der Lombardei.

176. Wir haben unsere Aufmerksamkeit bisher auf die Wärmemengen gerichtet, welche durch die Molekularveränderungen in flüssigen und festen Körpern verbraucht werden, während diese Körper fest und flüssig bleiben. Wir wollen jedoch nun unsere Aufmerksamkeit auf die Erscheinungen richten, welche eine Veränderung des Aggregatzustandes begleiten. Ein fester Körper schmilzt, wenn er genügend erwärmt wird, und eine Flüssigkeit wird bei genügender Erwärmung zu Gas. Lassen Sie uns das Eis als Beispiel nehmen und es durch den ganzen Kreislauf seiner Existenz verfolgen. Dieser Eisblock hat eine Temperatur von 10° C. unter Null. Ich erwärme ihn;

ein daran befestigtes Thermometer steigt auf 0°, und auf diesem Punkte beginnt das Eis zu schmelzen. Das Quecksilber im Thermometer, welches bis dahin stieg, ist jetzt in seinem Fortgange gehemmt und bleibt vollkommen stationär. Ich fahre fort, Wärme zuzuführen, allein es erfolgt keine Temperaturerhöhung; und erst wenn das letzte Eis von der Kugel geschwunden ist, fängt das Eis wieder an, sich zu bewegen. Es steigt jetzt abermals und erreicht 30°, 60°, 100°, hier zeigen sich Dampfblasen im Wasser; es siedet, und von jetzt ab bleibt das Thermometer wieder stationär auf 100°.

177. Allein während das Eis schmilzt und während das Wasser verdampft, wird unausgesetzt Wärme zugeführt: zum blossen Schmelzen des Eises wird soviel Wärme mitgetheilt, als man brauchen würde, um dasselbe Gewicht von Wasser um 79,4° C. zu erwärmen, oder um 79,4 Mal dieses Gewicht an Wasser um einen Grad zu erwärmen; und um ein Pfund Wasser bei 100° C. in ein Pfund Dampf von derselben Temperatur zu verwandeln, würde man 537,2 Mal soviel Wärme brauchen, als um ein Pfund Wasser um einen Grad zu erwärmen. Die erstere Zahl, 79,4° C. (oder 143° F.) repräsentirt das, was man bisher die latente Wärme des Wassers genannt hat; und die letztere Zahl, 537,2° (oder 967° F.), repräsentirt die latente Wärme des Dampfes. Diejenigen, welche zuerst diesen Ausdruck gebrauchten, wussten wohl, dass während der ganzen Zeit des Schmelzens und während der ganzen Zeit des Siedens Wärme zugeführt wurde, allein da diese Wärme nicht durch das Thermometer angezeigt wurde, erfand man die Fiction, dass dieselbe latent werde. Man nahm an, die Wärmeflüssigkeit verberge sich auf eine unbekannte Weise in den Molekularinterstitien des Wassers und des Dampfes

Unserer gegenwärtigen Theorie zufolge wird die zum Schmelzen verbrauchte Wärme dazu verwendet, den Atomen Spannkräfte zu verleihen. Sie vollzieht im Wesentlichen die Hebung eines Gewichtes. Ebenso wird beim Dampfe die Wärme dazu verbraucht, die flüssigen Atome auseinander zu treiben, indem sie denselben eine noch grössere Quantität von Spannkräften verleiht. Bei Entziehung der Wärme verdichtet sich der Dampf, die Moleküle stürzen aufeinander mit einer Quantität von lebendiger Kraft, welche derjenigen gleichkommt, die zu ihrer Trennung angewendet wurde; und genau dieselbe Wärmemenge, welche früher verbraucht wurde, kommt jetzt wieder zum Vorschein.

178. Der Vorgang des Flüssigwerdens ist innere Arbeit, eine Arbeit, welche darin besteht, die Atome in neue Stellungen zu bringen. Auch der Vorgang der Verdampfung ist grösstentheils innere Arbeit, zu welcher man jedoch noch die äussere Arbeit hinzufügen muss, die darin besteht, dass die Atmosphäre zurückgedrängt wird, wenn sich die Flüssigkeit in Dampf verwandelt.

179. Wir haben dem ausgezeichneten Manne, welchen wir bereits so oft erwähnt haben, die erste genaue Bestimmung der wärmeerzeugenden Kraft des Brennmaterials zu verdanken. Rumford maass die wärmeerzeugende Kraft einer jeden Substanz durch das Gewicht Wasser, dessen Temperatur bei vollkommener Verbrennung von einer Gewichtseinheit der Substanz um einen Grad gesteigert werden würde. So entwickelt ein Pfund Kohle, wenn es sich mit $2^2/_3$ Pfund Sauerstoff zu Kohlensäure verbindet, hinreichende Wärme, um die Temperatur von ungefähr 8000 Pfund Wasser um 1° C. zu steigern. Ebenso erzeugt ein Pfund Wasserstoff, indem es sich mit acht

Pfund Sauerstoff zu Wasser verbindet, eine hinreichende Wärmemenge, um 34000 Pfund Wasser um einen Grad zu erwärmen. Die wärmeerzeugenden Kräfte des Kohlenstoffs und des Wasserstoffs verhalten sich also wie 8 : 34" *). Die kürzlich angestellten sehr genauen Forschungen von Favre und Silbermann haben die Rumford'schen Angaben durchaus bestätigt.

180. Wir werden nun dem Wasser, dieser wunderbaren Substanz, unsere Aufmerksamkeit schenken und es durch die verschiedenen Phasen seines Daseins verfolgen. Wir haben zuerst seine Bestandtheile als freie Atome von Sauerstoff und Wasserstoff kennen gelernt, welche sich gegenseitig anziehen, fallen und aufeinander stürzen; der Arbeitswerth dieses molekularen Vorganges ist leicht festzustellen. Die Erwärmung von 1 Pfund Wasser um 1°C. ist gleich 1390 Fusspfund; also muss die Erwärmung von 34000 Pfund Wasser um 1°C. gleich 34000 × 1390 Fusspfund sein. Wir finden hiernach, dass die Vereinigung von 1 Pfund Wasserstoff mit 8 Pfund Sauerstoff nach seinem Arbeitswerthe der Hebung von 47 Millionen Pfund auf einen Fuss Höhe gleichkommt. Ich glaube also nicht zu viel gesagt zu haben, als ich angab, dass die Schwerkraft, wie sie sich in der Nähe der Erde äussert, eine fast verschwindende Quantität im Vergleich mit den Molekularkräften ist. Die Entfernungen, welche die Atome vor ihrer Verbindung trennen, sind so klein, dass sie sich jeder Messung entziehen, und dennoch gewinnen die Atome, indem sie diese Wege zurücklegen, eine hinreichende Geschwindigkeit, um sich mit der oben angegebenen ungeheuren Kraft aufeinander zu stürzen.

181. Nach der Vereinigung ist die Substanz im Zu-

*) Percy's Metallurgie, S. 53.

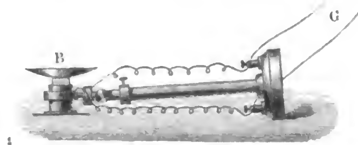
stande des Dampfes, welcher auf 100° C. herabsinkt, und sich nachher zu Wasser verdichtet. Im ersten Falle stürzen die Atome zusammen, um die chemische Verbindung zu bilden; im zweiten Falle vereinigen sich die Moleküle dieser Verbindung, um eine Flüssigkeit zu bilden. Der mechanische Werth dieses Vorganges ist auch leicht zu berechnen: 9 Pfund Dampf, der zu Wasser wird, erzeugt eine hinreichende Wärmemenge, um die Temperatur von 537,2 × 9 = 4835 Pfund Wasser um 1° C., oder 967 × 9 = 8703 Pfund um 1° F. zu erhöhen. Wenn wir die erste Zahl mit 1390 und die zweite mit 772 multipliciren, so haben wir in runder Zahl ein Product von 6720000 Fusspfund, als Arbeitswerth der blossen Verdichtung *). Der nächste grosse Fall ist der vom flüssigen Zustand herab in den gefrorenen, und der mechanische Werth dieses Vorganges ist gleich 993564 Fusspfund. Demnach stürzen unsere 9 Pfund Wasser bei ihrem Ursprung und während ihrer weiteren Umbildung über drei grosse Abgründe hinab: der erste Sturz ist an Kraft dem Hinabfallen von einer Tonne Gewicht über einen Abgrund von 22320 Fuss Höhe äquivalent; der zweite Sturz ist gleich dem Fall einer Tonne von einer Höhe von 2900 Fuss, und der dritte gleich dem Fall einer Tonne von der Höhe von 433 Fuss. Ich sah die wilden Steinlawinen der Alpen mit einer Heftigkeit von den Felsenklippen herabstürzen und donnern, dass der Beobachter darob erstarrte. Ich sah aber auch Schneeflocken so sanft niederfallen, dass nicht einmal die zerbrechlichen Strah-

*) Bei Rumford's Versuchen war die Verdichtungswärme in seinen Angaben über die wärmeerzeugende Kraft mit inbegriffen; wenn man die obige Summe von derjenigen der chemischen Verbindung von Sauerstoff und Wasserstoff abzieht, so bleiben immer noch 40 Millionen Fusspfund als Arbeitswerth des Vorganges der Verbindung.

len, woraus sie bestanden, beschädigt wurden; und doch bedarf es, um aus Wasserdampf eine Quantität dieses zarten Materiales herzustellen, welche ein Kind forttragen könnte, eines Kraftaufwandes, welcher hinreichen würde, um die zerschmetterten Felsblöcke der grössten von mir beobachteten Steinlavine aufzuraffen, und sie auf die doppelte Höhe wieder hinauf zu schleudern.

182. Ich will jetzt die Ihrer Aufmerksamkeit bisher auferlegte Anstrengung erleichtern, indem ich einige Versuche über die Wärmewirkungen, welche bei Veränderungen des Aggregatzustandes eintreten, hier vornehmen werde. Ich lege meine thermoelektrische Säule rücklings auf den Tisch, setze diese dünne, silberne Schale auf ihre nackte Oberfläche *B* (Fig. 45) und giesse eine Quantität lauen Wassers in dieselbe; die Nadel bewegt sich bis zu 90° und bleibt dauernd auf 70° abgelenkt stehen. Hierauf lege ich ein wenig pulverisirten Salpeter (nicht mehr, als zur Bedeckung eines Dreipfennigstückes nöthig wäre) in das Gefäss und lasse ihn darin auflösen. Der Salpeter war zuvor in die Nähe des Feuers gebracht worden, so dass sowohl das Wasser als das Pulver erwärmt waren. Sehen Sie, welche Wirkung ihre Vermischung hervorbringt.

Fig. 45.



Der Salpeter löst sich im Wasser auf; und um diese Veränderung hervorzubringen, wird alle die Wärme, welche sowohl das Wasser wie der Salpeter im Ueberschuss über die Temperatur dieses Zimmers besitzen, verbraucht — ja sogar noch mehr als diese. Die Nadel sinkt, wie Sie sehen, nicht bloss auf Null, sondern geht noch eine Strecke weiter nach der anderen Seite, und zeigt somit an, dass die Oberfläche der Säule stark abgekühlt wurde.

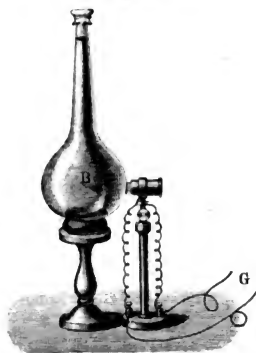
183. Ich entferne die Schale, giesse die Flüssigkeit aus, ersetze sie durch warmes Wasser, worin ich eine Prise gewöhnlichen Salzes streue. Die Nadel stand auf 70, als ich das Salz hineinthat; jetzt sinkt sie, erreicht 0°, und bewegt sich nach der anderen Seite, welche Kälte anzeigt. Allein die Wirkung ist nicht so stark, als in dem vorhergehenden Falle. Wir haben also in Bezug auf latente Wärme dieselben Unterschiede, welche wir bereits in Bezug auf specifische Wärme erläutert haben. Ich reinige die Schale abermals, giesse wieder frisches Wasser hinein und thue etwas Zucker in das Wasser; die durch das Schmelzen des Zuckers verbrauchte Wärmemenge ist bemerkbar; die Flüssigkeit wird abgekühlt, allein die Abkühlung ist viel geringer als die beiden früheren Male. Sie kühlen also Ihren Thee in der wissenschaftlichsten Weise dadurch ab, dass Sie ihn versüssen, und indem Sie Salz in Ihre Suppe streuen, thun Sie dasselbe; und wenn es Ihnen um das Abkühlen allein, ohne Rücksicht auf den Wohlgeschmack, zu thun wäre, so könnten Sie die Abkühlung durch Hinzufügung von Salpeter noch mehr beschleunigen.

184. Bei einer früheren Gelegenheit haben wir eine Mischung von gestossenem Eis und Salz benutzt, um

intensive Kälte hervorzubringen. Sowohl Eis als Salz verändern ihren Aggregatzustand, wenn sie zusammengemischt werden, und als eine Folge davon sinkt die Temperatur der Mischung auf mehrere Grade unter den Gefrierpunkt des Wassers. Hier ist ein Satz Uhrgläser, die in Stanniol eingewickelt und in eine Mischung von Eis und Salz getaucht sind. Jedes Uhrglas enthielt etwas Wasser, worin das folgende Glas ruhte. Jetzt sind alle Gläser durch die Kälte dieser Mischung zu einem festen Cylinder zusammengefroren.

185. Ich will nun den Process umkehren und Ihnen die Wärme zeigen, die sich bei dem Uebergang des flüssigen in den festen Zustand entwickelt. Aber zuerst will ich Ihnen zeigen, dass Wärme latent wird durch die Auflösung von schwefelsaurem Natron. Ich prüfe die Substanz gerade wie ich den Salpeter geprüft habe, und Sie sehen, dass die Säule sich abkühlt, während die Krystalle schmelzen. Jetzt lassen Sie uns den ergänzenden Versuch machen. Dieses grosse Glasgefäss *B* (Fig. 46) mit dem langen Halse ist mit einer Lösung von schwefelsaurem Natron angefüllt. Mein Assistent hat diese Substanz gestern über dem Feuer in unserem Laboratorium aufgelöst und die Flasche mit der Lösung angefüllt. Er bedeckte deren Mündung hierauf sorgfältig mit einem Stück Blase, und setzte die Flasche

Fig. 46.



hinter diesen Tisch, wo sie über Nacht ruhig stand. Die Flüssigkeit ist im gegenwärtigen Augenblick mit schwefelsaurem Natron übersättigt. Das heisse Wasser konnte mehr davon schmelzen als das kalte; aber jetzt ist die Temperatur viel niedriger als die, welche dem Sättigungspunkte entspricht. Dieser Zustand wird dadurch aufrecht erhalten, dass man die Lösung vollständig ruhig stehen und keinen fremden Körper in dieselbe hineinfallen lässt. Wasser, das man ganz ruhig stehen lässt, kann auf diese Weise viele Grade unter den Gefrierpunkt abgekühlt werden. Manche unter Ihnen haben vielleicht bemerkt, dass das Wasser in Ihren Waschkrügen nach einer kalten Winternacht beim Ausgiessen plötzlich gefror. In kalten Klimaten ist dies nichts Ungewöhnliches. Die Theilchen schwefelsauren Natrons in dieser Lösung befinden sich gleichsam am Rande eines Abgrundes und können schon dadurch hinabgestürzt werden, dass man einen kleinen Krystall von derselben Substanz, so gross wie ein Sandkorn, in die Lösung hineinwirft. Beobachten Sie, was jetzt vorgeht: die Flasche enthält jetzt eine klare Flüssigkeit; ich werfe diesen winzigen Krystall hinein; er sinkt nicht unter; die Moleküle haben sich rund um ihn zusammengeschlossen, so dass sie eine feste Substanz bilden, worin der Krystall nun eingebettet liegt. Ihr Uebergang vom freien in den gebundenen Zustand geht ganz allmälig vor sich; Sie sehen, wie das Festwerden durch den Hals der Flasche abwärts schreitet, die nackte Oberfläche meiner Säule berührt die convexe Oberfläche der Flasche, und die Nadel des Galvanometers deutet auf Null. Der Krystallisationsprocess hat die Flüssigkeit in der Nähe der Säule noch nicht erreicht, allein Sie sehen wie er herannaht. Das Salz in der Nähe der Säule ist jetzt fest geworden, und nun beachten Sie die Wirkung: die Atome

entwickeln Wärme, während sie die feste Form annehmen; diese Wärme theilt sich der gläsernen Hülle mit, welche ihrerseits die Säule erwärmt, und die Nadel eilt auf 90°, wie Sie sehen. Die Wärmemenge, welche durch das Festwerden frei und wahrnehmbar wird, ist derjenigen Wärmemenge genau gleich, welche durch das Flüssigwerden latent gemacht wurde.

186. Wir haben uns bei diesen Versuchen mit der latenten Wärme von Flüssigkeiten beschäftigt; erlauben Sie mir jetzt Ihre Aufmerksamkeit auf einige Versuche zu lenken, welche die sogenannte latente Wärme der Dämpfe sichtbar machen oder mit anderen Worten diejenige Wärmemenge, die in Spannkräfte verwandelt wird, wenn ein Körper vom flüssigen in den gasförmigen Zustand übergeht. Wie zuvor lege ich meine Säule auf den Rücken, mit der nackten Fläche nach oben gekehrt; auf diese Fläche setze ich die bereits benutzte silberne Schale, welche jetzt eine kleine Quantität einer absichtlich erwärmten flüchtigen Substanz enthält. Die Nadel bewegt sich und zeigt Wärme an. Allein sie hat kaum 90° erreicht, als sie umkehrt, auf Null herabsinkt und nach der entgegengesetzten Seite hinfliegt. Die hier benutzte Flüssigkeit ist Schwefeläther; er ist sehr flüchtig, und die Verdunstung geht mit solcher Schnelligkeit vor sich, dass sie rasch die ihr zuerst mitgetheilte Wärme aufbraucht, und hierauf auch der Säule Wärme entzieht. Ich entferne den Aether und ersetze ihn durch schwach erwärmten Alkohol; die Nadel steigt wieder wie vorhin auf der Seite, welche Wärme anzeigt. Ich will diesen kleinen Blasebalg benutzen, um die Verdunstung des Alkohols zu beschleunigen; Sie sehen wie die Nadel fällt und jetzt bei 90° auf Seite der Kälte steht. Wasser ist bei weitem nicht so flüchtig als Alkohol; trotzdem kann ich Ihnen vermittelst

dieser Einrichtung den Wärmeverbrauch durch die Verdunstung des Wassers zeigen. Wir benutzen zur Aufbewahrung des Wassers eine Art Geschirr, welches ein schwaches Durchsickern der Flüssigkeit gestattet und somit eine feuchte Aussenseite behält. Auf dieser Oberfläche findet eine Verdunstung statt und die zu dieser Molekulararbeit nöthige Wärme wird zum grossen Theile dem in dem Gefässe befindlichen Wasser entzogen, wodurch es kühl erhalten wird. Butterkühler sind nach demselben Principe construirt.

187. Um Ihnen den Grad der Abkühlung, welcher durch Verdunstung des Wassers erreicht werden kann, zu zeigen, habe ich hier ein Instrument (Fig. 47), in welchem Wasser blos mittels der Entziehung seiner Wärme durch seinen eigenen Dampf zum Gefrieren gebracht wird. Dieses Instrument heisst der Kryophor, ist eine Erfindung von Dr. Wollaston und wird auf folgende Weise hergestellt: Man giesst etwas Wasser in eine dieser Kugeln *A* (Fig. 47). Die andere Kugel *B* wird heiss gemacht und

Fig. 47.



in eine Röhre mit einer feinen Oeffnung am Ende ausgezogen. Man lässt das Wasser in *A* sieden und so lange Dampf entwickeln, bis alle Luft durch die kleine Oeffnung in der Kugel *B* ausgetrieben ist. Wenn die Kugeln und

die Verbindungsröhre mit reinem Dampf angefüllt sind, schliesst man das Loch vermittelst eines Löthrohres. Hier haben wir also Wasser und seinen Dampf, fast ohne eine Spur von Luft. Sie hören, dass die Flüssigkeit klirrt, gerade wie damals in dem Wasserhammer.

188. Ich lasse alle Flüssigkeit in die Kugel *A* laufen, welche in ein leeres Glas gesetzt ist, um sie vor Luftzug zu bewahren. Die leere Kugel *B* tauche ich in diese Gefriermischung, so dass der Dampf, welcher von der Flüssigkeit in *A* entweicht, durch die Kälte in *B* wieder zu Wasser verdichtet wird. Diese Verdichtung bewirkt, dass neue Dampfquantitäten sich entwickeln können. Durch die andauernde Verdunstung wird das Wasser, welches den Dampf abgiebt, mehr und mehr abgekühlt. In 15 bis 20 Minuten wird es sich in ein Stück Eis verwandelt haben. Hier habe ich in der That die durchsichtige, feste Masse, welche sich in einem zweiten vor einer halben Stunde in Wirksamkeit gesetzten Apparat gebildet hat. Der ganze Abkühlungsprocess geschieht dadurch, dass die Atombewegung aus einer Kugel in die andere ohne entsprechenden Ersatz übertragen wird.

189. Aber das frappanteste Beispiel von Wärmeverbrauch durch Veränderung des Aggregatzustandes wird von der Substanz geliefert, welche ich in diesem festen eisernen Gefäss gefangen halte. Diese Flasche enthält nämlich Kohlensäure, die durch ungeheuren Druck flüssig gemacht worden ist. Diese Substanz ist, wie Sie wissen, unter gewöhnlichen Verhältnissen ein Gas; hier ist eine Flasche gefüllt mit diesem Gase, welches mit dem Auge nicht von der gewöhnlichen Luft zu unterscheiden ist, obwohl es seine Natur zu erkennen giebt, indem es eine Kerze verlöschen macht. Wird der Hahn an der eisernen Flasche aufgedreht, so hört der Druck über der Säure

auf; die Flüssigkeit kocht, zerstiebt so zu sagen plötzlich zu Gas, welches der Oeffnung mit grösster Heftigkeit entströmt. Allein Sie können diesen Strom verfolgen; mit demselben vermischt sehen Sie eine weisse Substanz, welche 8 bis 10 Fuss weit durch die Luft geweht wird. Woraus besteht diese weisse Substanz? Aus Schnee von Kohlensäure. Die durch den Uebergang von dem flüssigen in den gasförmigen Zustand entwickelte Kälte ist so intensiv, dass ein Theil der Kohlensäure factisch zu Schnee gefriert und sich in kleinen Flocken mit dem ausströmenden Gase vermischt. Man kann diesen Schnee in einem geeigneten Gefäss auffangen. Hier ist ein cylindrischer Kasten mit zwei hohlen Ansatzröhren, durch welchen ich das Gas nunmehr strömen lasse. Links und rechts sehen Sie den trüben Strom, allein ein grosser Theil der gefrorenen Masse wird in dem Kasten zurückgehalten. Ich öffne denselben, und Sie sehen, er ist mit dieser ganz festen weissen Kohlensäure angefüllt.

190. Dieser feste Körper schwindet nur sehr allmälig; seine Umwandlung in Dampf geht sehr langsam von statten, weil er nur langsam von den umliegenden Substanzen die zur Verdunstung nöthige Wärme aufsammeln kann. Man darf die Substanz frei angreifen, allein nicht zu fest drücken, damit man sich nicht verbrennt. Die Substanz ist kalt genug, um die Hand zu verbrennen. Ich tauche ein Stück davon in Wasser, und halte es darin fest; Sie sehen Blasen im Wasser aufsteigen, dies ist reine Kohlensäure. Ich fange dieses Gas auf, um Ihnen zu zeigen, dass es alle Eigenschaften der auf gewöhnliche Weise bereiteten Kohlensäure hat. Ich stecke ein Stück davon in den Mund, athme jedoch während dieser Zeit nicht ein. Ich hauche gegen dieses Licht; mein Athem löscht die Flamme aus. Ich werde Ihnen sofort erklären, wie es

möglich ist, eine so kalte Substanz ohne Schaden im Munde zu halten. Ein Stück Eisen von entsprechender Kälte würde ernstlichen Schaden verursachen.

191. Wir haben also hier einen festen, intensiv kalten Körper, der jedoch die ihn berührenden Körper nicht abkühlt, wie man es doch vermuthen sollte. Es hat nämlich keine wirkliche Berührung zwischen ihnen und der Säure stattgefunden. Wir sehen, dass Wasser dieselbe nicht auflöst, Schwefeläther wird es jedoch thun, und indem ich eine Quantität dieses Aethers auf den Schnee giesse, erhalte ich eine teigige Masse, welche eine ungeheure Abkühlungsfähigkeit besitzt. Hier sind einige dicke, unregelmässige Glasstücke, die Böden von zerbrochenen Trinkgläsern. Ich lege ein Stück feste Kohlensäure darauf und befeuchte sie mit Aether; Sie hören, wie die Gläser krachen; sie sind durch das Zusammenziehen in Folge der intensiven Kälte zersprengt worden.

192. Ich lege etwas Papier in dieses Gefäss, und giesse ein bis zwei Pfund Quecksilber auf das Papier; auf das Quecksilber lege ich etwas feste Kohlensäure und giesse ein wenig Aether darüber. Es bedarf eines sehr niedrigen Temperaturgrades, wie Sie wissen, um Quecksilber zum Gefrieren zu bringen; aber hier ist es gefroren. Ich lege es hier als feste Masse vor Sie hin; ich kann es hämmern und mit einem Messer schneiden. Dieser Draht, den ich unter das Quecksilber brachte, um es herausheben zu können, ist daran festgefroren; ich hebe das Quecksilber daran in die Höhe und tauche es in einen Glaskolben voll Wasser. Es wird flüssig und rieselt durch das Wasser herab; allein jeder Quecksilberfaden macht das Wasser mit dem es in Berührung kommt, gefrieren, und so bildet sich eine Eisröhre um jeden Quecksilberfaden, durch

welche Sie das flüssige Metall herabfallen sehen können. Man könnte diese Versuche bis ins Unendliche vervielfältigen; allein ich meine, es sei genug geschehen, um unseren heutigen Gegenstand zu erläutern.

193. Ich muss Ihre Aufmerksamkeit auf eine andere sehr eigenthümliche Klasse von Erscheinungen richten, welche mit der Entstehung von Dampf zusammenhängen. Hier ist eine breite Porzellanschüssel *B* (Fig. 48), welche mit heissem Wasser angefüllt ist. Hier ist eine silberne Schale *S*, welche ich bis zum Rothglühen erhitze. Was wird geschehen, wenn ich die silberne Schale auf das Wasser setze? Sie würden vielleicht antworten, die Schale werde natürlich ihre Wärme augenblicklich dem Wasser mittheilen, und auf die Temperatur des letzteren abgekühlt werden. Allein nichts Derartiges tritt ein. Das Silber entwickelt eine Weile an seiner unteren Fläche eine hinreichende Menge von Dampf, um es gänzlich vor der Berührung mit dem Wasser zu schützen; oder wenn wir uns in der Weise unserer früher entwickelten Hypothese ausdrücken wollen: es wird durch das Anprallen der Atomgeschosse gegen seine untere Fläche emporgehoben. Dies wird so lange dauern, bis die Temperatur der Schale sinkt und nicht mehr genügend ist, um dem Dampfe die zu ihrer Hebung nöthige Spannkraft zu verleihen. Alsdann kommt sie mit dem Wasser in Berührung, und das gewöhnliche Zischen des heissen Metalles in Verbindung mit der Wolke, welche sich über ihm bildet, giebt davon Kunde.

Fig. 48.



194. Ich werde den Versuch jetzt umkehren. Anstatt die Schale auf das Wasser zu stellen, giesse ich Wasser in die Schale, nachdem ich letztere zuerst an der Lampe bis zum Rothglühen erhitzt habe. Sie hören kein Geräusch des Siedens, kein Zischen des Wassers, wenn ich es in das heisse Becken giesse; der Tropfen rollt auf seinem eigenen Dampfe, d. h. er wird getragen durch den Anprall der Molekulargeschosse, welche sich unter seiner Oberfläche entladen. Ich entferne die Lampe und lasse die Schale sich so lange abkühlen, bis sie nicht mehr im Stande ist Dampf von genügender Spannkraft zu entwickeln, um den Tropfen zu tragen. Die Flüssigkeit berührt nun das Metall; in dem Moment, wo sie dies thut, tritt heftiges Aufwallen ein und eine Dampfwolke, wie Sie sie hier sehen, bildet sich über der Schale.

195. Sie können von Ihren Plätzen aus das abgeflachte und in der Schale umherrollende Sphäroïd nicht erkennen; ich will deshalb versuchen es Ihnen zu zeigen, und falls es mir gelingt, werden Sie etwas sehr Schönes sehen. Unterhalb des Tropfens entwickelt sich fortwährend Dampf, der ebenso fortwährend nach der Seite hin zu entweichen strebt. Ruht der Tropfen auf einer ziemlich ebenen Fläche, so wird das Entweichen nach den Seiten erschwert, und der Dampf wird sich durch die Mitte des Tropfens nach oben hin Bahn brechen. Allein ich habe hier die Einrichtung getroffen, dass der Dampf seitwärts entweichen kann; zuweilen kommt es vor, dass dieses Entweichen rhythmisch ist; der Dampf entströmt in regelmässigen Pulsschlägen, und dann modellirt sich unser Wassertropfen zu einer wundervollen Rosette. Hier ist ein solcher Tropfen: eine runde flüssige Masse von 2 Zoll Durchmesser und mit einem schön eingeschnittenen Rande. Indem ich den Strahl der elektrischen Lampe

auf diesen Tropfen lenke, um ihn zu beleuchten, und die Glaslinse darüber halte, hoffe ich ein Bild davon an die Decke oder auf jenen Schirm werfen zu können. Jetzt ist das Bild ganz deutlich und bildet eine 18 Zoll im Durchmesser haltende Figur (Fig. 49), aus deren Rand der Dampf rhythmisch wie in musikalischer Schwingung ausströmt. Wenn ich etwas Tinte zugiesse, um die Flüssigkeit dunkler zu färben, so wird wohl der Umriss derselben deutlicher, allein der perlähnliche Glanz der Oberfläche geht dadurch verloren. Ich entziehe die Wärme; die wellenförmige Bewegung dauert noch eine

Fig. 49.



Weile, nimmt dann allmälig ab; schliesslich wird der Rand glatt. Der Tropfen ist jetzt vollkommen regungslos, ein flüssiges Sphäroïd; und jetzt dehnt er sich plötzlich an der Oberfläche aus, denn es hat Berührung stattgefunden, und der „sphäroïdale Zustand“ ist nun zu Ende.

196. Ich trockne das silberne Gefäss und setze es, den Boden nach oben gekehrt, der elektrischen Lampe

gegenüber, und vermittelst einer Glaslinse werfe ich ein optisches Bild seines abgerundeten Umrisses auf diesen Schirm. Ich tauche dieses Schwämmchen in Alkohol und presse es über der kalten Schale aus, so dass die Tropfen auf die Oberfläche des Metalles fallen: Sie sehen das vergrösserte Bild derselben auf dem Schirme, und Sie bemerken, dass sie beim Auffallen auf die umgekehrte Schale sich ausbreiten und an derselben herabträufeln. Ich werde die Schale nun durch eine untergesetzte Lampe erhitzen. Beachten Sie, was geschieht: Die Tropfen fallen wie zuvor beim Auspressen des Schwammes, allein wenn sie in Berührung mit der Schale kommen, verbreiten sie sich nicht mehr wie vorhin, sondern rollen als flüssige Kugeln über deren Oberfläche hinab. Sehen Sie, wie sie springen und tanzen, als wären sie auf elastische Federn gefallen, was ja auch wirklich der Fall ist (Fig. 50). Ein jeder Tropfen, indem er die heisse Oberfläche trifft

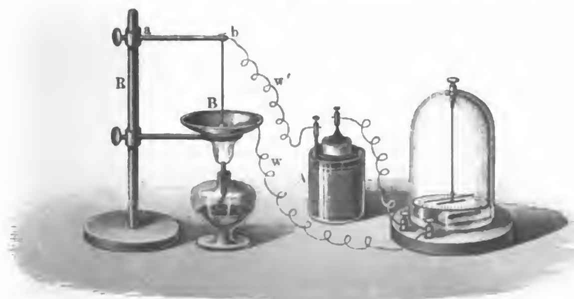
Fig. 50.



und an ihr entlang rollt, entwickelt Dampf, der ihn über die Grenze der Berührung hinaus hebt, somit jede Cohäsion zwischen dem Tropfen und der Oberfläche verhindert, und dem ersteren gestattet seine sphärische oder sphäroidale Form beizubehalten.

197. Ich habe hier eine von Professor Poggendorff ersonnene Einrichtung getroffen, welche in sehr sinnreicher Weise die unterbrochene Berührung zwischen dem sphäroidalen Tropfen und der Fläche, worauf er ruht, anschaulich macht. Von dieser silbernen Schale *B* (Fig. 51), welche dazu bestimmt ist, den Tropfen aufzunehmen, ist ein Draht *w* rings um jene Magnetnadel geführt;

Fig. 51.

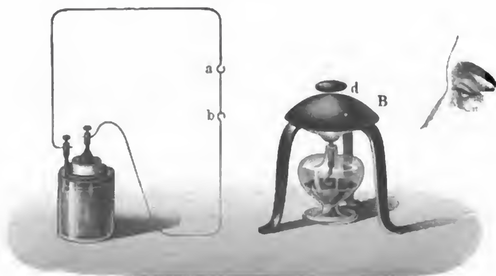


das andere Ende des Galvanometerdrahtes ist an dem einen Ende des galvanischen Elements *A*, befestigt. Von dem entgegengesetzten Pole des letzteren leite ich einen Draht, *w'*, zu dem beweglichen Arme *ab* dieses Retortenträgers, *R*. Ich erwärme die Schale, giesse das Wasser hinein und lasse meinen Draht herabsinken, bis sein Ende in die sphäroidale Masse eintaucht: man sieht jedoch keine Be-

wegung der Nadel im Galvanometer, obgleich die einzige Lücke in dem ganzen Kreislauf jetzt nur der unterhalb des Tropfens befindliche Zwischenraum ist. Wäre der Tropfen mit der Schale in Berührung, so würde der Strom hindurch gehen. Ich beweise dies dadurch, dass ich die Lampe entferne; der sphäroidale Zustand wird bald aufhören; die Flüssigkeit wird den Boden berühren. Jetzt geschieht dies, und die Nadel fliegt augenblicklich zur Seite.

198. Man kann den Zwischenraum zwischen dem Tropfen und der heissen Oberfläche, worauf er ruht, factisch sehen. Folgender Versuch kann auch von einem einzelnen Beobachter leicht angestellt werden. Man nehme ein flaches Gefäss *B* (Fig. 52), und drehe es um; sein Boden muss jedoch etwas vertieft sein, um einen Tropfen enthalten zu können; man wärme das Gefäss

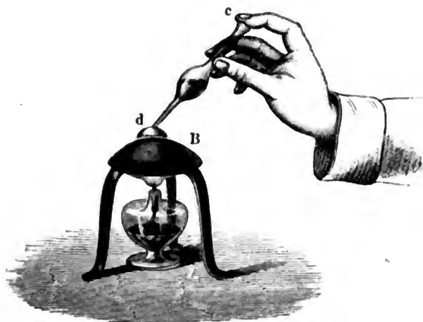
Fig. 52.



mittels einer Spirituslampe und giesse einen Tropfen Tinte, die mit ein wenig Alkohol vermischt ist, darauf. Nun spanne man einen Platinadraht, *a b*, senkrecht hinter

dem Tropfen, und mache den Draht vermittels eines durchgehenden elektrischen Stromes glühend. Hierauf bringe man das Auge auf das Niveau der unteren Fläche des Tropfens, und man wird im Stande sein, den rothglühenden Draht durch den Zwischenraum zwischen dem Tropfen und dem Gefäss, worauf er ruht, zu sehen. Erlauben Sie mir, Ihnen diesen Zwischenraum zu zeigen. Ich setze das Gefäss *B* (Fig. 53), wie zuvor, den Boden nach oben gekehrt, vor die elektrische Lampe; ich erwärme die Schale, und setze sorgfältig einen Tropfen *d* aus

Fig. 53.



einer Pipette auf dieselbe. Ruht dieser Tropfen auf der richtigen Stelle der Fläche, und ist die gegenüber befindliche Linse richtig eingestellt, so sehen Sie zwischen dem Tropfen und dem Silber einen Streifen grellen Lichtes, welcher anzeigt, dass der Strahl der Lampe unter dem Tropfen hinweg auf den Schirm fallen konnte.

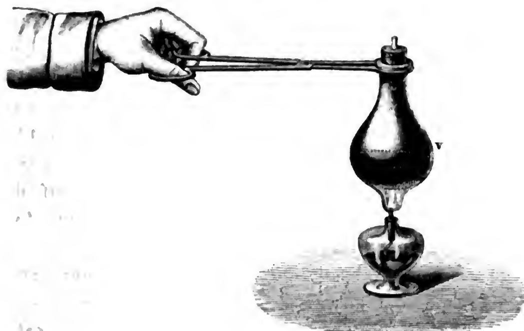
199. Der sphäroidale Zustand wurde zuerst von Leidenfrost beobachtet, und ich könnte Ihnen noch funfzig

andere Beispiele davon geben. Es kann sogar eine Flüssigkeit auf der anderen dahinrollen. Wenn ich diese rothglühende Kupferkugel in eine Schüssel voll heissen Wassers eintauche, so entsteht ein lautes Zischen, was von dem Entweichen des entstandenen Dampfes herrührt; dennoch findet noch keine Berührung des festen und des flüssigen Körpers statt: allein wir wollen die Kugel liegen lassen, bis sie sich abkühlt; die Flüssigkeit berührt sie endlich, und jetzt wallt das Wasser so stark auf, dass es nach allen Seiten über das Becken hinausspritzt.

200. Herr Boutigny hat in letzter Zeit diesem Gegenstande neues Interesse verliehen, indem er das Feld der dazu gehörigen Fälle erweiterte, und verschiedene ausserordentliche Wirkungen auf diese Ursachen zurückführte. Eine nasse Hand kann ohne Schaden durch einen Strom von geschmolzenem Metall gezogen werden. Ich selbst sah, wie Herr Boutigny mit nasser Hand in geschmolzenes Metall hineingriff und das flüssige Metall mit seinen Fingern aus einem Schmelztiegel herausschleuderte: ein Schmied kann weissglühendes Eisen mit der Zunge ablecken, ohne Furcht, dieselbe zu verbrennen. Die Zunge ist vor einer Berührung mit dem heissen Metalle durch den sich entwickelnden Dampf geschützt; und als ich soeben die gefrorene Kohlensäure in den Mund steckte, schützte mich der Dampf dieser Substanz vor Beschädigung. Herr Boutigny schreibt manche wunderbare Rettungen von der Feuerprobe im Mittelalter demselben schützenden Einflusse zu. Ich muss aber hinzufügen, dass die Männer der Wissenschaft die Boutigny'sche Erklärung des sphäroidalen Zustandes nicht angenommen haben. Die Versuche, welche Sie gesehen haben, legen die wahre Ursache vor Jedermanns Augen offen dar.

201. Man hat auch die Dampfkesselexplosionen dem Eintreten des sphäroidalen Zustandes an dem im Kessel befindlichen Wasser zugeschrieben, indem man die plötzliche Dampfentwicklung und die darauf folgende Berührung mit dem erhitzten Metalle als Ursache der Explosion annahm. Wir wissen weniger von diesen Dingen als wir sollten. Die Experimentalphysik hat eine Reihe von wirkungsfähigen Ursachen, welche diese schrecklichen Katastrophen herbeiführen können, ans Tageslicht gefördert; allein die praktische Wissenschaft hat noch nicht zu bestimmen vermocht, bis zu welchem Grade diese Ursachen wirklich zur Wirkung kommen. Die Wirkung von plötzlicher Dampferzeugung ist durch einen Versuch, welchen ich jetzt vor Ihnen wiederholen werde, anschaulich gemacht worden. Hier ist ein kupfernes Gefäss *V* (Fig. 54).

Fig. 54.



Sein Hals ist mit einem Korke verstopft, durch den ein enges Glasröhrchen von einem halben Zoll Länge geht. Ich erhitze das kupferne Gefäss und giesse etwas Wasser hinein. Die

Flüssigkeit ist jetzt in sphäroidalem Zustande. Ich verkorke das Gefäss, und die kleine Quantität von Dampf, welche sich während des sphäroidalen Zustandes des Wassers bildet, entweicht durch die Glasröhre. Ich entferne jetzt das Gefäss von der Lampe und warte ein bis zwei Minuten. Das Wasser wird bald mit dem Kupfer in Berührung kommen; jetzt geschieht dies, und der Kork wird, wie bei einer Schiesspulverexplosion, ziemlich weit in die Höhe geschleudert.

202. Der sphäroidale Zustand erlaubt uns einen merkwürdigen Versuch zu machen, der darin besteht, eine Flüssigkeit innerhalb eines rothglühenden Gefässes zum Gefrieren zu bringen. Boutigny liess zuerst mittelst schwefliger Säure Wasser in einem rothglühenden Schmelztiegel gefrieren, und Faraday liess Quecksilber vermittelst fester Kohlensäure gefrieren. Ich will dieses letzte Experiment zu wiederholen versuchen; aber lassen Sie uns den Anfang mit Wasser machen. Hier ist eine hohle, 2 Zoll im Durchmesser haltende Messingkugel, welche jetzt gänzlich mit Wasser angefüllt ist. Ein Draht, der als Handhabe für die Kugel dienen soll, ist in dieselbe eingeschraubt. Ich erhitze diesen Schmelztiegel aus Platina bis zum Rothglühen, und lege einige Brocken fester Kohlensäure hinein. Ich giesse etwas Aether auf die Säure — keine der beiden Substanzen kommt mit dem heissen Schmelztiegel in Berührung, sondern sie sind beide vor der Berührung durch das sie umgebende elastische Dampfkissen geschützt —, ich senke meine Wasserkugel auf die Masse herab, thürme sorgfältig Stücke fester Kohlensäure auf dieselbe und füge noch etwas Aether hinzu. Die teigige Masse innerhalb des rothglühenden Tiegels bleibt sehr kalt, und jetzt hören Sie einen Krach! Nun bin ich überzeugt, dass unser Versuch gelingt. Das

gefrierende Wasser hat die Messingkugel gesprengt, wie es bei einem früheren Versuche das eiserne Gefäss sprengte. Ich hebe die Kugel jetzt auf, schäle die zersprengte Messingschale ab, und nun sehen Sie eine feste Eiskugel aus dem rothglühenden Schmelztiegel hervorgehen.

203. Ich bringe eine Quantität Quecksilber in einen kegelförmigen, kupfernen Löffel und tauche letzteren in den Schmelztiegel. Der Aether im Tiegel hat sich entzündet, was nicht in meiner Absicht lag. Der Versuch sollte eigentlich so vor sich gehen, dass das kohlensaure Gas — die Stickluft der Bergwerke — den Aether vor Entzündung schützen sollte. Aber das Quecksilber wird trotzdem gefrieren. Ich ziehe den Löffel aus dem Feuer und durch die Flamme zurück, und Sie haben hier das gefrorene Metall vor sich.

Sechstes Kapitel.

Fortführung von erwärmter Luft. — Winde. — Obere und untere Passatwinde. — Einwirkung der Umdrehung der Erde auf die Richtung der Winde. — Einfluss wässeriger Dünste auf das Klima. — Europa als Condensator des atlantischen Meeres. — Regen in Irland. — Der Golfstrom. — Bildung des Schnees. — Bildung des Eises aus Schnee. — Gletscher. — Erscheinungen der Gletscherbewegung. — Zusammenfrieren und Umformung des Eises durch Druck. — Ehemalige Gletscher.

Anhang: Thatsachen, die Gletscherbewegung betreffend.

204. Ich beabsichtige heute eine Stunde auf die Betrachtung von einigen der physikalischen Erscheinungen zu verwenden, die uns in grossem Maasstabe in der Natur entgegentreten und zwar zunächst die der Winde. Sie sehen diese Gasbrenner, welche im Augenblicke fast ganz zugedreht sind und sonst dies Zimmer zu erleuchten haben, wenn das Tageslicht abgehalten oder verschwunden ist. Sie wurden nicht allein zur Erleuchtung hier angebracht, sondern auch um das Zimmer zu ventiliren. Die Luft, die von den Gasflammen erwärmt wird, dehnt sich aus und geht in einem starken vertikalen Strome hinaus in die Atmosphäre. Die Luft des Zimmers wird daher unaufhörlich hinaufgezogen und ein frischer

Vorrath muss eindringen, um den Verlust wieder zu ersetzen. Der Zug in unseren Kaminen ist also vertikaler Wind, den wir hervorrufen, indem wir die Luft durch unsere Feuer erwärmen.

205. Ich zünde dieses Stückchen braunen Papiers an; die Flamme steigt aufwärts. Ich blase die Flamme aus, und das Papier raucht nur noch am Rande. Die glühenden Ränder wärmen die Luft und bringen Strömungen hervor, welche den Rauch aufwärts führen. Ich lege das rauchende Papier in ein grosses Glasgeschirr und verschliesse den Hals desselben, damit der Rauch nicht hinaus kann. Der Rauch steigt mit der leichten Luft in der Mitte auf, breitet sich oben nach den Seiten hin aus, wird abgekühlt und fällt wie eine Cascade von Wolken an den Wänden des Gefässes nieder. Ich habe hier einen schweren eisernen Spatel, der zu dunkler Glühhitze erhitzt wurde. Wenn ich ihn so halte, können Sie die Luftströme, die davon aufsteigen, nicht sehen. Aber ich kann sie Ihnen durch ihre Wirkung auf die Lichtstrahlen zeigen. Ich bringe den Spatel in den Strahl der elektrischen Lampe; hier ist der Schatten des Spatels auf dem Schirme sichtbar, und diese wogenden Linien von Licht und Schatten bezeichnen das Aufströmen der erwärmten Luft. Ausserdem ist hier ein eiserner Löffel, in dem ein Stück Schwefel liegt, welches ich erwärmen will, bis es brennt. Ich tauche den Schwefel in dieses Gefäss voll Sauerstoff, dadurch wird die Verbrennung glänzender und stärker, und die Luft der Flasche wird in heftige Bewegung versetzt. Die Schwefeldämpfe machen es Ihnen möglich, die Stürme zu verfolgen, die im Inneren der Flasche durch Erwärmung der Luft erzeugt sind. Ich gebrauche das Wort „Stürme“ absichtlich, denn die Orkane, welche die Erde verwüsten, sind nichts anderes als

grossartige Beispiele derselben Wirkung, die wir in dieser Glasflasche hervorgerufen haben.

206. Alle unsere Winde stammen von der Sonnenwärme her. Wir leben auf dem Grunde eines Luftoceans, welcher die Sonnenstrahlen ohne viel Widerstand durchdringen lässt, und nur wenig von ihrer directen Einwirkung gestört wird. Aber diese Strahlen erwärmen die Oberfläche der Erde, wo sie darauf fallen, und veranlassen Verdunstung des Wassers, wo sie den Ocean treffen. Die Luft, die in Berührung mit der Erdfläche steht, theilt ihre Wärme, dehnt sich aus und steigt empor in die oberen Regionen der Atmosphäre; ebenso die Dämpfe des Oceans, wobei diese letzteren ohne Zweifel wegen ihrer Leichtigkeit Luft mit sich ziehen. Wo die Strahlen senkrecht auf die Erde fallen, also zwischen den Wendekreisen, ist die Erwärmung der Oberfläche am grössten. Dort steigen Luftströme auf und fliessen seitwärts nach Norden und Süden gegen die Pole ab, während die schwerere Luft der Polarregionen herzuströmt, um den Platz auszufüllen, den die leichte und warme Luft verlassen hat. Auf diese Weise haben wir einen unaufhörlichen Kreislauf. Folgendes Experiment machte ich im heissen Zimmer eines russischen Dampfbades. Ich öffnete die Thür weit und hielt eine brennende Wachskerze in die Mitte zwischen Boden und Decke; die Flamme der Kerze stieg gerade in die Höhe. Ich stellte die Kerze auf den Boden, und die Flamme ward heftig in das Zimmer herein geblasen. Ich hielt sie an das obere Ende der Thür, und die Flamme ward heftig hinaus geblasen. Hier hatten wir zwei Strömungen oder Winde, die übereinander in entgegengesetzter Richtung hinzogen. In derselben Weise zieht über unsere Hemisphäre ein Strom vom Aequator nach dem Norden hin, welcher in den obe-

ren Luftschichten fliesst, während ein anderer durch die unteren Luftschichten dem Aequator zuströmt. Dieses sind die oberen und unteren Passatwinde.

207. Wenn die Erde bewegungslos wäre, würden diese beiden Ströme in gerader Linie nach Norden und Süden laufen, aber die Erde dreht sich von Westen nach Osten einmal in 24 Stunden um ihre Achse. Kraft dieser Umdrehung wird die Luft am Aequator mit einer Schnelligkeit von 1000 Meilen in der Stunde bewegt. Sie wissen, was geschieht, wenn Jemand unvorsichtig aus einem Wagen tritt, der noch in Bewegung ist. Er nimmt noch an der Bewegung des Wagens Theil, und wenn seine Füsse die Erde berühren, wird er in Richtung der Bewegung vorwärts gezogen. Dies macht auch das Springen aus einem Eisenbahnwagen, wenn der Zug in voller Bewegung ist, fast immer tödtlich. Je mehr wir uns von dem Aequator entfernen, desto mehr vermindert sich die Schnelligkeit, die von der Erdrotation herrührt, und wird an den Polen gleich Null. Sie ist dem Radius des Parallelkreises proportional und nimmt bei steigender Breite in dem Verhältniss ab, als diese Kreise kleiner werden. Denken Sie sich also einen Menschen plötzlich vom Aequator auf eine Stelle versetzt, wo die von der Rotation erzeugte Schnelligkeit nur 900 Meilen in der Stunde betrüge; beim Berühren der Erde würde er in östlicher Richtung mit einer Schnelligkeit von 100 Meilen in der Stunde vorwärts gezogen werden, da dies der Unterschied zwischen der Schnelligkeit am Aequator, von wo er absprang, und der Schnelligkeit der Erdoberfläche an seinem neuen Aufenthaltsorte wäre.

208. Gleicherweise verhält es sich mit dem Uebergang der Luft von der äquatorialen nach der polaren Zone und umgekehrt. Am Aequator besitzt die Luft dieselbe

Schnelligkeit wie die Erdoberfläche ebenda, und wenn sie diese Lage verlässt, hat sie nicht nur einem Zuge nach Norden, sondern ebenso einem Zuge nach Osten zu gehorchen, und muss die dazwischen liegende resultirende Richtung einschlagen. Je weiter sie nach Norden kommt, desto mehr wird sie von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt, desto mehr wendet sie sich ostwärts und strebt das zu werden, was wir einen Westwind nennen würden. Das Gegentheil findet seine Anwendung auf den Strom, der von Norden kommt; dieser geht von Stellen langsamer Bewegung zu Strichen schneller Bewegung über, die Erde kommt ihm entgegen. Daher wird der Wind, der sich als Nordwind erhob, erst zum Nordostwind und dann immer östlicher werden, je mehr er sich dem Aequator nähert.

209. Wir haben jedoch unsere Kenntniss von dem Dasein einer oberen Luftströmung nicht bloss aus Vernunftschlüssen geschöpft, obwohl diese uns hinreichend sagen, dass irgendwie Ersatz stattfinden müsse und dass ein Wind nicht nach einer Richtung blasen könne, ohne dass in der entgegengesetzten Richtung eine gleich grosse Luftmenge zuströmte; sondern man sieht auch zuweilen in tropischen Ländern die Wolken hoch oben in der Atmosphäre nach einer entgegengesetzten Richtung ziehen, als die ist, nach welcher der Wind unten dauernd bläst. Könnten wir einen leichten Körper mit genügender Kraft in die Höhe schleudern, so dass er die untere Strömung durchdränge und die obere erreichte, so würde uns die Richtung der Bewegung dieses Körpers die des oberen Windes anzeigen. Menschliche Kraft kann dieses Experiment nicht ausführen, und dennoch ist es gemacht worden. Vulkane haben ihre Asche durch die untere Luftströmung geschossen und von den Stellen, auf welche dieselbe nach-

her herunterfiel, hat man auf die Richtung des Windes geschlossen, der sie trug. Professor Dove führt in seinen „Witterungsverhältnissen von Berlin“ folgendes Beispiel an: „In der Nacht vom 30. April zum 1. Mai hörte man in Barbados Explosionen wie von schwerem Geschütz, so dass die Garnison vom Fort St. Anne unter dem Gewehr blieb. Am 1. Mai bei Tagesanbruch sah man die östliche Seite des Horizontes hell, den ganzen übrigen Theil des Himmels deckte eine schwarze Wolke, die auch bald jene helle Stelle umhüllte, und nun wurde es so dunkel, dass man in den Zimmern nicht die Stelle der Fenster zu unterscheiden vermochte, während die Bäume unter der Last eines herabfallenden Aschenregens brachen. Woher kam diese Asche? Nach der Richtung des im April und Mai unausgesetzt wehenden Passats hätte man auf den Pic der Azoren schliessen sollen, und doch war es Asche aus dem Vulkan Morne Garou, des 20 Meilen westlich liegenden St. Vincent, welches durch den Passat so von Barbados getrennt ist, dass nur ein sehr grosser Umweg die Reise möglich macht. Der Vulkan hatte nämlich seine Asche durch den unteren in den oberen Passat geschleudert. Zu diesem bisher isolirt stehenden Beispiel des Fortführens vulkanischer Asche gegen die Richtung des unten herrschenden Passats hat die neuere Zeit ein noch auffallenderes geliefert. Am 20. Januar 1835 wurde die ganze Landenge von Mittelamerika durch ein den Ausbruch des Coseguina begleitendes Erdbeben erschüttert. Am 24. und 25. verdunkelten in Kingston auf Jamaica in einer Entfernung von 800 englischen Meilen Schauer feiner Asche die Sonne, und dadurch erfuhr man erst, dass die früher gehörten Explosionen nicht von Kanonenschüssen herrührten. Diese Asche konnte nur durch den oberen Passat herbeigeführt sein, da Jamaica nordöstlich

vom Gebirge am Nicaragua liegt. Zugleich giebt dieser Ausbruch einen schönen Beweis dafür, dass die in der Gegend der Windstillen aufsteigende Luft sich in der Höhe theilt und nach beiden Polen hin abfliesst, denn auf das Schiff Conway fiel auch Asche, als sich dasselbe auf dem stillen Ocean südwestlich vom Coseguina in einer Entfernung von 700 englischen Meilen befand".

210. „Selbst auf den höchsten Spitzen der Andes hat noch nie ein Reisender den oberen Strom erreicht. In der Nähe der Gegend der Windstillen muss daher sein Abstand vom Meeresspiegel mehr als 20000 Fuss betragen. Damit Asche aus niedrigen Vulkanen wie der Morne Garou und Coseguina diese Höhe erreiche, muss daher die Explosion ungeheuer sein. So war es in beiden Fällen; das Brüllen des Coseguina hörte man in Kingston, San Salvador und anderen Orten, also in einem Abstand von 200 deutschen Meilen. Union, eine Hafenstadt an der Westküste von Conchagua, wurde 43 Stunden lang in die absoluteste Finsterniss versetzt. Dann erst fing es soweit zu dämmern an, dass man sah, das Meeresufer sei durch die herabfallende Aschenmasse 800 Fuss weiter vorgerückt. Ebenso gehört der Ausbruch des Morne Garou zu einer Kette grossartiger vulkanischer Wirkungen, deren Schluss er bildet. Vom Juni bis Juli 1811 erhob sich unter heftigem Erdbeben, Rauch und Flammen neben San Miguel, einer der Azoren, die Insel Sabrina aus dem 150 Fuss tiefen Meeresgrunde bis zur Höhe von 300 Fuss über den Wasserspiegel und zu einem Umfange von einer englischen Meile. Darauf wurden die kleinen Antillen erschüttert, dann die Thäler des Mississippi, Arkansas und Ohio. Aber auch hier fanden die elastischen Kräfte keinen Ausweg, sie suchten ihn an der Nordküste von Columbien. Der 26. März begann als ein ausser-

ordentlich heisser Tag in Caracas; die Luft war heiter und der Himmel wolkenlos. Es war grüner Donnerstag, ein Regiment Linientruppen stand bereits in der Kaserne El Quartel de San Carlos unter den Waffen, um sich zur Procession zu begeben, das Volk strömte nach den Kirchen; da erfolgte nach lautem unterirdischen Donner ein Erdstoss, so heftig, dass die über 150 Fuss hohe Kirche Alta Gracia, von Strebepfeilern von 15 Fuss Dicke getragen, nur einen Haufen fein zermalmten Schuttes von 6 Fuss Höhe bildete. Am Abend beleuchtete der fast volle Mond in mildem Glanze am wolkenlosen Himmel die Trümmer der Hauptstadt, unter welchen 10000 ihrer Einwohner begraben waren. Aber auch hier war kein Ausgang für die vulkanischen Kräfte gefunden; endlich am 27. April gelang es ihnen, den ein volles Jahrhundert geschlossenen Schlund des Morne Garou zu öffnen und bis zum Rio Apure, das heisst in einer Entfernung wie vom Vesuv bis Paris, ertönte der donnernde Jubelruf des befreiten Gefangenen."

211. Ich habe hier einen Erdglobus, auf dem ich mit der Hand zwei Meridiane verfolge. An dem Aequator des Globus sind sie einen Fuss weit auseinander, was auf der Erdoberfläche ungefähr einer Entfernung von 1000 Meilen entsprechen würde. Aber nach Norden zu nähern sich diese Meridiane einander allmälig bis sie auf dem Nordpole zusammentreffen. Offenbar müsste ein Luftstrom, welcher sich zwischen diesen Meridianen am Aequator erhebt, sich in ein immer engeres Bett pressen, wenn er direct zu den Polen ginge. Wäre die Erde ein Cylinder anstatt einer Kugel, so könnten wir eine gleichmässige Circulation von der Mitte des Cylinders bis ganz zu jedem Ende hin und von da nach der Mitte zurückkehrend haben. Aber dies ist bei der Erde unmöglich,

einfach aus dem Grunde, weil der Raum rings um die Pole nicht genügt, um die Luft des Aequators aufzunehmen. Die abgekühlte Luft vom Aequator sinkt, und die Rückströmung tritt ein, noch ehe die Pole erreicht sind, und dies ereignet sich mehr oder minder unregelmässig. Ausserdem fliessen die beiden Ströme oft nebeneinander statt übereinander. Sie stellen Luftflüsse vor, deren Bett beständig wechselt.

212. Dies sind die grossen Strömungen unserer Atmosphäre, die jedoch durch die unregelmässige Vertheilung von Land und Wasser wesentlich verändert werden. Winde von geringerer Ausdehnung werden auch durch die örtlichen Bedingungen von Wärme, Kälte und Verdunstung hervorgerufen. Es giebt Winde in den Alpen, die durch locale Einwirkungen erzeugt werden und zuweilen mit plötzlicher, zerstörender Heftigkeit durch die Schluchten der Gebirge hinabsausen. Sanfter herabstreichende Luftströme kommen von den Höhen, wo Gletscher sind. Dann haben wir Landwinde und Seewinde, die von der wechselnden Tages- und Nachttemperatur des Erdbodens an der Küste herrühren. Die Morgensonne erwärmt den Strand und bringt eine verticale Luftströmung hervor, so dass die Luft von dem Meere landeinwärts strömt. Am Abende wird die Oberfläche der Erde vermöge ihrer Ausstrahlung mehr abgekühlt als die See, und die Bedingungen sind nun umgekehrt; die schwere Luft der Küste fliesst nun seewärts.

213. Auf diese Weise führt also die Luft, als geflügelter Bote, den Polen einen Theil der tropischen Wärme zu, wodurch eine gleichmässigere Vertheilung der irdischen Wärme gesichert wird. Doch in ihrem Fluge nach Norden wird die Luft von einer anderen Substanz begleitet, nämlich von dem Wasserdampfe, der, wie

Sie wissen, vollkommen durchsichtig ist. Denken Sie sich, wie der Ocean der Tropen seinen Dampf ausströmt, der vermöge seiner Leichtigkeit das Aufsteigen der mit ihm verbundenen Luft erleichtert. Beide dehnen sich beim Aufsteigen aus: in einer Höhe von 16000 Fuss nehmen die Luft und der Dampf einen doppelt so grossen Raum ein als auf dem Meeresspiegel. Um sich diesen Raum zu erobern, müssen sie durch ihre elastische Kraft die Luft nach allen Richtungen um sich her zurückdrängen, sie müssen Arbeit leisten, und diese Arbeit kann nur auf Kosten der Wärme, die sie am Anfang mit sich führten, geleistet werden.

214. Wenn der Dampf so abgekühlt ist, kann er nicht länger gasförmig bleiben. Er schlägt sich nieder und bildet Wolken; die Wolke fällt als Regen herab, und in den windstillen Regionen der Calmen oder da, wo die Sonne im Zenith steht, und die Luft zuerst ihrer Wasserlast entledigt wird, fällt ungemein viel Regen. Die Sonne bleibt nicht immer vertikal über demselben Parallelkreise stehen, sie ist manchmal nördlich, manchmal südlich vom Aequator, zwischen diesem und den beiden Wendekreisen. Wenn sie südlich vom Aequator steht, liegt die Erdoberfläche im Norden des Aequators nicht mehr in der Region der Windstille, sondern in einer Region, durch welche die Luftströmung vom Norden der Region der Windstille zufliesst. Die bewegte Luft ist nur wenig mit Wasserdämpfen gemischt und wird auf ihrem Wege von Norden nach Süden immer wärmer; sie bildet einen trockenen Wind, und ihre Fähigkeit, Dampf in sich aufzunehmen, steigert sich fortwährend. Aus diesen Betrachtungen wird es klar, dass jeder Ort zwischen den Wendekreisen seine trockene und seine nasse Jahreszeit haben muss;

die trockene, wenn die Sonne auf der anderen Seite des Aequators, die nasse, wenn sie im Zenith steht.

215. Wie sich jedoch allmälig der obere Strom, der vom Aequator ausgehend den Polen zufliesst, abkühlt und verdichtet, sinkt er zur Erde nieder. Bei dem Pic von Teneriffa ist er schon soweit gesunken, dass er den Gipfel des Berges umfasst. Während am Fusse der Wind nach der entgegengesetzten Richtung bläst, findet der Reisende, dass der Strom vom Aequator her scharf über den Gipfel streicht. Weiter nach Norden sinkt der Wind vom Aequator noch tiefer herab, bis er endlich den Erdboden ganz erreicht. Europa wird meistens von diesem Aequatorialstrom überfluthet. In London herrschen während acht oder neun Monaten des Jahres Südwestwinde vor. Aber achten Sie darauf, welchen Einfluss dies auf unser Klima haben muss. Die Feuchtigkeit des Oceans der heissen Zone kommt zu uns, ausgestattet mit einem Arbeitsvorrath, ihre Atome getrennt und daher fähig zusammenzustürzen, und somit Wärme zu entwickeln. Sie kommt, wenn wir so sagen wollen, beladen mit latenter Wärme. In unserer nördlichen Atmosphäre findet der Zusammenstoss statt, und die so erzeugte Wärme ist die Hauptquelle der milden Temperatur unseres Klimas. Wenn die Umdrehung der Erde nicht wäre, würden die trockenen, heissen Winde aus Afrika über uns hinstreichen, aber durch die Umdrehung wird der Wind, der sich im Golf von Mexiko erhebt, nach Europa abgeleitet. Daher ist Europa der Empfänger dieser Vorräthe latenter Wärme, die im Atlantischen Ocean angesammelt wurden. Die britischen Inseln halten den grössten Theil dieser Feuchtigkeit und Wärme für sich zurück, und dieser Umstand kommt zu dem bereits erwähnten, der hohen specifischen Wärme des Wassers, hinzu, um unser Klima vor Extre-

men zu bewahren. Unter solchen Bedingungen werden unsere Felder so grün und die Wangen der englischen Mädchen so rosig.

216. Eine andere Eigenschaft dieser wunderbaren Substanz, welcher wahrscheinlich ihr Haupteinfluss als meteorologisches Agens zuzuschreiben ist, soll bei einer späteren Gelegenheit erörtert werden *).

217. Je mehr wir in Europa nach Osten kommen, desto geringer wird der Betrag wässeriger Niederschläge. Die Luft wird ärmer und ärmer an Feuchtigkeit. Schon zwischen der Ost- und Westküste unserer Inseln lässt sich ein Unterschied merken, auch haben locale Umstände einen mächtigen Einfluss auf den Betrag des Niederschlages. Dr. Lloyd findet die jährliche Durchschnittstemperatur der Westküste von Irland an zwei Grad höher als die der Ostküste bei der gleichen Bodenhöhe und unter demselben Breitengrade. Der Gesammtbetrag des Regens, der im Jahre 1851 in verschiedenen Orten der Insel fiel, findet sich auf folgender Tabelle:

Beobachtungs-ort	Regenhöhe in Zollen
Portarlington	21,2
Killough	23,2
Dublin	26,4
Athy	26,7
Donaghadee	27,9
Courtown	29,6
Kilrush	32,6
Armagh	33,1
Killybegs	33,2
Dunmore	33,5
Portrush	37,2
Burincrana	39,3
Markree	40,3
Castletownsend	42,5
Westport	45,9
Cahirciveen	59,4

In Hinsicht auf diese Tabelle bemerkt Dr. Lloyd.

*) Siehe Kapitel XI.

218. „1. Dass eine grosse Verschiedenheit in dem jährlichen Regenbetrag an den verschiedenen Stellen sei, die sämmtlich (mit Ausnahme von vier) nur einige Fuss über dem Meeresspiegel liegen, indem der höchste Betrag (in Cahirciveen) fast dreimal so gross ist als der geringste (in Portarlington).

219. „2. Dass die Orte, wo der wenigste Regen fällt, entweder im Innern oder an der Ostküste liegen, während diejenigen, wo er am stärksten fällt, an der Westküste selbst oder in ihrer Nähe liegen.

220. „3. Dass die Regenmenge in hohem Grade von der Nähe einer Gebirgskette oder Gebirgsgruppe abhängt, und in der Nachbarschaft einer solchen immer bedeutend ist, ausser wenn der Ort nordöstlich davon liegt.

„Nun liegt Portarlington im Nordosten des Slievebloom; Killough im Nordosten der Mournekette, Dublin nordöstlich der Wicklowkette und so fort. Andererseits liegen die Stationen, wo es am meisten regnet, Cahirciveen, Castletownsend, Westport u. s. w. in der Nähe hoher Gebirge, aber in anderer Richtung von ihnen" *).

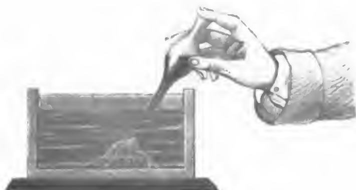
221. Diese Vertheilung der Wärme durch den Uebergang erwärmter Luft von einer Stelle zur andern ist Fortführung der Wärme genannt worden, zur Unterscheidung von dem Processe der Leitung, der an geeigneter Stelle auch erörtert werden soll. In gleicher Weise wird Wärme durch Flüssigkeiten vertheilt. Ich habe hier eine Glascelle *C* (Fig. 55), welche warmes Wasser enthält.

---

*) Der meiste Regen fällt nach Sir John Herschel's Tabelle (Meteorologie 110 etc.) in Cherra Pungee, wo er jährlich 592 Zoll beträgt. Es ist nicht meine Sache mich weiter in die Meteorologie einzulassen; denn die vollkommenste und genaueste Unterweisung wird der Leser in den vortrefflichen Werken von Sir John Herschel und Professor Dove finden.

Ich stelle sie vor die elektrische Lampe und lasse vermittelst einer convergirenden Linse ein vergrössertes Bild der Celle auf den Schirm fallen. Ich führe nun das Ende

Fig. 55.



dieser Pipette in das Wasser der Celle und lasse etwas kaltes Wasser langsam dadurch hineinlaufen. Die Verschiedenheit der Strahlenbrechung zwischen beiden macht es Ihnen möglich das schwere, kalte Wasser durch das leichtere, warme fallen zu sehen. Das Experiment gelingt noch besser, wenn ich ein Stück Eis auf der Oberfläche

Fig. 56.



des warmen Wassers schwimmen lasse. Während das Eis schmilzt, schickt es lange, schwere Streifen nach dem Boden der Celle nieder. Sie bemerken, wie diese kalten Ströme durch das warme Wasser hinabsinken, wenn ich das Eis auf der Oberfläche entlang bewege. Ich kehre

nun das Experiment um, thue kaltes Wasser in die Celle und warmes Wasser in die Pipette. Man muss hierbei sorgfältig zu Werke gehen, damit das warme Wasser ohne Bewegungsmoment eintritt, wodurch es mechanisch nach unten getrieben wird. Merken Sie gefälligst auf den Erfolg. Das Ende der Pipette mündet in der Mitte der Celle und Sie sehen, wie das warme Wasser beim Einströmen sich schnell nach oben wendet (Fig. 56 a. v. S.) und die Oberfläche überfluthet, ungefähr so wie Oel es in gleichem Falle thun würde.

222. Wenn ein Gefäss voll Wasser von unten erwärmt wird, verbreitet sich die zugeführte Wärme durch Fortführung. Sie können mit Hülfe der elektrischen Lampe sowohl die Richtung der aufsteigenden warmen Strömungen, als auch die Richtung der Strömungen sehen, welche hinabgehen, um den Platz des leichteren Wassers einzunehmen. Hier ist ein Gefäss mit Cochenille, deren einzelne Theile, nicht viel schwerer als Wasser, frei der Richtung seiner Strömung folgen. Sie sehen, wie sich diese Stücke Cochenille vom erwärmten Boden des Gefässes loslösen, in der Mitte desselben aufsteigen und an den Seiten wieder niedersinken. In dem isländischen Geyser findet diese Fortführung in grossem Stile statt. Ein Stückchen Papier, in die Mitte des Wassers, welches die Röhre füllt, geworfen, wird augenblicklich an die Seite gezogen und da von dem herabgehenden Strome mit hinuntergenommen.

223. Im Meere bilden sich theils aus dieser Ursache, hauptsächlich aber wohl durch die Einwirkung der Winde Strömungen, welche durch die Wärme, die sie vertheilen, mächtigen Einfluss auf das Klima haben. Der bedeutendste und für uns bei weitem wichtigste dieser Ströme ist der Golfstrom, welcher aus der Aequatorialgegend kommend

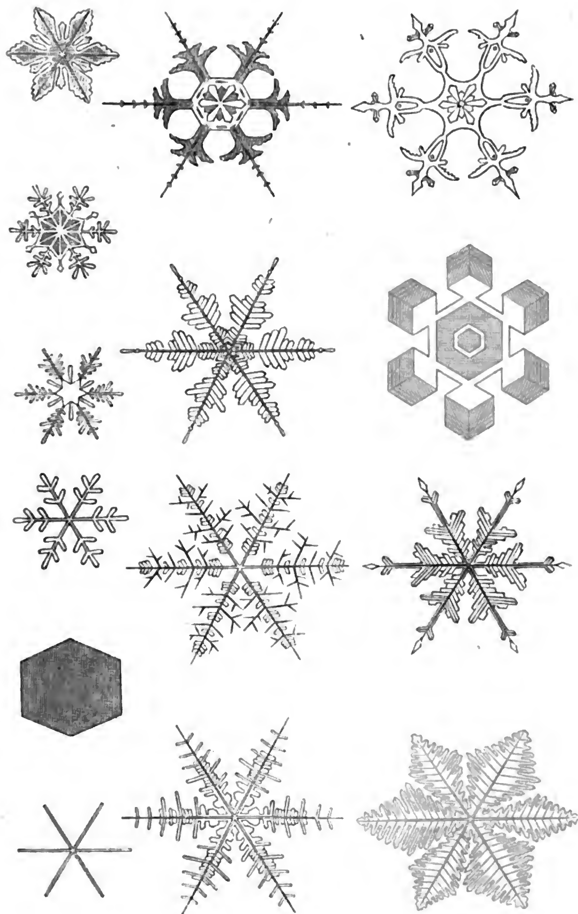
den Atlantischen Ocean durchschneidet und durch den Golf von Mexiko geht, von dem er seinen Namen hat. Wo er die Strasse von Florida verlässt, besitzt er eine Temperatur von 28° C., von da folgt er der Küste von Amerika bis zum Cap Fear, von wo er eine nordöstliche Richtung quer durch den Atlantischen Ocean annimmt und endlich die Küste von Irland und die nordwestlichen Gestade von Europa überhaupt bespült. Wie sich erwarten lässt, macht sich der Einfluss dieser warmen Wassermasse hauptsächlich im Winter geltend. Sie hebt dann vollständig den Unterschied in der Temperatur auf, der zwischen Nord- und Südbritannien bestehen sollte, wenn man ihre verschiedene nördliche Breite ins Auge fasst. Begeben wir uns aber im Januar von dem Kanal nach den Shetlandinseln, so treffen wir überall dieselbe Temperatur. Die isotherme Linie läuft also dann von Norden nach Süden. Das Dasein dieses Wassers macht das Klima von Westeuropa völlig verschieden von dem der gegenüberliegenden Küste von Amerika. Der Fluss Hudson, zum Beispiel, welcher unter dem Breitengrade von Rom liegt, ist drei Monate im Jahre gefroren. Wenn wir im Januar von Boston ausschiffen, um die Insel St. John herum, und von da nach Island fahren, finden wir überall die gleiche Temperatur. Der Hafen von Hammerfest zieht grossen Vortheil aus dem Umstande, dass er das ganze Jahr hindurch nicht zufriert. Das kommt von dem Golfstrome, welcher um das Nordcap streicht und das Klima dort so beeinflusst, dass man an einzelnen Stellen in wärmere Regionen kommt, wenn man weiter nach Norden geht. Der Unterschied zwischen Nordeuropa und der Ostküste von Amerika brachte Halley zu der Vermuthung, dass der Nordpol der Erde sich verändert, dass er früher irgendwo bei der Behringsstrasse gelegen habe, und dass

die starke Kälte, die man in diesen Regionen trifft, die Kälte des früheren Poles sei, die, seit die Axe ihre Richtung änderte, noch nicht vollständig verschwunden wäre. Aber jetzt wissen wir, dass der Golfstrom und die Wärmeverbreitung durch Winde und Dämpfe die wirkliche Ursache des milden Klimas von Europa ist. Auf der Westküste von Amerika, zwischen den Rocky Mountains und dem Stillen Ocean finden wir ein Klima wie in Europa.

224. Europa ist also der Condensator des Atlantischen Oceans, und zwar sind in Europa die Gebirge die hauptsächlichsten Condensatoren. Auf sie lässt sich überdies, wenn sie hoch genug sind, der verdichtete Dampf nicht in flüssiger, sondern in fester Gestalt nieder. Wir wollen das Wasser bei seiner Geburtsstätte aufsuchen und ihm auf seiner weiteren Laufbahn folgen. Wolken schweben in der Luft, und daher die Vermuthung, dass sie aus Wasserbläschen zusammengesetzt seien, und also hohle Schalen statt voller Kugeln von Wasser bilden. Angesehene Reisende behaupten diese Blasen gesehen zu haben, und ihre Aussagen verdienen alle Berücksichtigung. Es ist jedoch sicher, dass die Wassertheilchen in grosser Höhe die Fähigkeit besitzen, bei oder nach ihrem Niederschlage krystallinische Formen anzunehmen. Sie bringen hierbei Kräfte in Ausübung, die wir bisher als molekulare anzusehen pflegten, und welche solchen Wassermassen nicht zugeschrieben werden können, wie sie nöthig sind, um Bläschen zu bilden.

225. Vollkommen gebildeter Schnee ist nicht eine unregelmässige Anhäufung von Eistheilchen; in ruhiger Atmosphäre ordnen sich die Wasseratome zu den auserlesensten Figuren. Sie haben die sechsblätterigen Blumen gesehen, welche sich in einem Eisblock zeigen, wenn ein Wärmestrahl hindurchgeleitet wird. Die Schnee-

Fig. 57.



krystalle, die sich in ruhiger Atmosphäre bilden, sind nach demselben Muster gebaut. Die Atome stellen sich zu sechseckigen Sternen zusammen. Aus einem Centralkerne schiessen sechs Spitzen, deren jede von der anderen durch einen Winkel von 60° getrennt ist. Aus diesen Hauptrippen schiessen nach rechts und links feinere Spitzen, mit unfehlbarer Genauigkeit den Winkel von 60° einhaltend, und aus diesen laufen wiederum noch feinere in demselben Winkel ab. Die sechsblätterigen Blumen nehmen die wundervoll mannigfaltigsten Formen an. Ihre Ornamente sind wie die feinste gefrorene Gaze, und rings um ihre Ecken hängen sich oft andere, kleinere Rosetten. Schönheit ist auf Schönheit gehäuft, als ob die Natur, einmal in der Arbeit, sich auch darin gefiele, selbst innerhalb der engsten Grenzen den Reichthum ihrer Mittel zu zeigen *).

226. Diese gefrorenen Blumen bilden unseren Gebirgsschnee, sie belasten die Alpengipfel, wo ihre zarte Architektur bald durch die Einwirkung des Wetters zerstört wird. Jeden Winter fallen sie von Neuem, und jeden Sommer verschwinden sie; aber diese periodisch wechselnden Vorgänge heben sich gegenseitig nicht vollständig auf. Unterhalb einer gewissen Linie herrscht die Wärme vor, und die Quantität Schnee, die jeden Winter fällt, wird völlig weggeschmolzen. Oberhalb dieser Linie herrscht die Kälte vor; die Quantität Schnee, welche fällt, übersteigt die Quantität, die wegschmilzt, und so bleibt ein jährlicher Rest liegen. Im Winter reicht der Schnee bis in die Ebenen herab; im Sommer zieht er sich bis zur Schneelinie zurück, zu der besonderen Linie, wo eben so viel

*) Siehe Fig. 57, wo einige der schönen Abbildungen von Glaisher wiedergegeben sind.

Schnee, als im Winter fällt, von der Sommerwärme auch wieder geschmolzen wird, und oberhalb deren die Region ewigen Schnees anfängt. Wenn aber über der Schneelinie jährlich ein Rest liegen bleibt, so müssen die Gebirge mit einer Schneelast beladen werden, die jedes Jahr wächst. Angenommen, bei einem gewissen Punkte über der genannten Linie werde der Schneemasse mit jedem Jahre eine drei Fuss dicke Schicht zugefügt. Diese Ablagerung, nur die kurze Periode der christlichen Aera hindurch angesammelt, würde eine Erhöhung von 5580 Fuss bewirken. Und wenn sich solche Ansammlungen nun durch geologische, anstatt historischer Zeitperioden fortsetzten, so könnten wir die Höhe, zu welcher sich der Schnee aufthürmen würde, gar nicht mehr schätzen. Es ist offenbar, dass eine solche Anhäufung nicht stattfindet; die Schneemasse auf den Gebirgen steigert sich nicht in solcher Weise. Auf eine oder die andere Art wird die Sonne verhindert, das Meer aus seinem Bett zu heben und seine Wasser beständig auf die Höhen zu thürmen.

227. Wie wird denn also diese jährlich wachsende Last von den Schultern der Gebirge genommen? Die Schneemassen lösen sich manchmal und rutschen als Lavinen die Abhänge hinunter, worauf sie in der wärmeren Luft unten in Wasser zerschmelzen. Aber das heftige Niederfahren als Lavinen ist nicht ihre einzige Bewegung: sie gleiten in fast unmerklicher Weise an den Abhängen nieder. Wie sich Schicht auf Schicht häuft werden die unteren Lagen der Schneemasse gedrückt und verdichtet; die Luft, die anfänglich in den Maschen des Schnees verfangen war, wird ausgepresst, und die gedrückte Masse nähert sich mehr und mehr dem Charakter des Eises. Sie wissen, wie die Körnchen eines Schneeballes aneinanderhängen; Sie wissen, wie hart Sie denselben in muthwilliger

Laune machen können: der Schneeball ist beginnendes Eis, steigern Sie den Druck, und Sie werden ihn völlig in Eis verwandeln. Aber selbst nachdem er eine Festigkeit erlangt hat, die ihn berechtigen würde Eis genannt zu werden, ist er noch fähig mehr oder weniger einem Drucke nachzugeben, wie es Schnee thut. Wenn sich daher diese Substanz genügend hoch auf der Erdoberfläche ansammelt, werden die unteren Schichten durch den Druck der oberen herausgepresst, und wenn der Schnee auf einem Abhange liegt, wird er natürlich in der Richtung des Abfalls nachgeben und sich abwärts bewegen.

228. Diese Bewegung geht unaufhaltsam an den Abhängen jedes schneebeladenen Gebirges, des Himalaya, der Anden, der Alpen vor sich. Aber ausser dieser Bewegung, die auf der Fähigkeit der Substanz selbst, einem Drucke zu weichen, beruht, findet noch eine gleitende Bewegung über das geneigte Bett hin statt. Der verdichtete Schnee bewegt sich in ganzer Masse über den Gebirgsabhang hinunter, schleift die Rauhigkeit der Felsen ab und polirt ihre harten Flächen. Auch die untere Seite des mächtigen Schleifers bekommt von den Felsen, über die sie sich hinschob, Schrammen und Furchen; aber je weiter der gepresste Schnee hinunter kommt, desto wärmere Gegenden erreicht er, desto reichlicher schmilzt er und ist manchmal ganz verzehrt, ehe er noch am Fuss des Abhangs angelangt ist. Manchmal aber nehmen weite und tiefe Thäler die eisige Masse auf, die in solcher Weise herabkommt. In diesen wird sie weiter verdichtet und bewegt sich mit langsamem, aber messbarem Fortschritte durch dieselben hinab, wobei sie in all ihren Bewegungen einem Flusse gleicht. Das Eis wird hierbei weit unter die Grenzlinie ewigen Schnees fortgeführt, bis endlich das Wegschmelzen unten der Zufuhr von oben gleich-

kommt, und der Punkt erreicht ist, wo der Gletscher endet. Unterhalb der Schneelinie haben wir im Sommer nur Eis; oberhalb der Schneelinie haben wir Sommer und Winter hindurch auf der Oberfläche Schnee. Der Theil unter der Schneelinie wird Gletscher, der über der Schneelinie Firn (névé) genannt. Die Firn speist also den Gletscher.

229. Verschiedene mit Eis gefüllte Thäler können sich zu einem einzigen verbinden, indem sich die Nebengletscher zu einem gemeinsamen Gletscherstrom zusammenschweissen. Sowohl das Hauptthal, als auch die Nebenthäler sind oft gekrümmt, und die Nebengletscher müssen ihre Richtung ändern, um den Hauptgletscher zu bilden. Die Weite des Thales ist auch vielfach verschieden; der Gletscher muss sich durch enge Schluchten zwängen und sich wieder erweitern, nachdem er sie passirt hat. Die Mitte des Gletschers bewegt sich schneller als die Seiten, und die Oberfläche schneller als der Grund. Der Strich schnellster Bewegung folgt demselben Gesetz, wie es sich bei der Strömung eines Flusses zeigt, und zieht von einer Seite der Mittellinie zur andern, je nachdem die Biegung des Thales sich ändert*). Die meisten der grossen Alpengletscher bewegen sich während des Sommers in der Mitte mit einer Schnelligkeit von 2 Fuss im Tage. Es giebt Stellen auf dem Mer-de-Glace, gegenüber dem Montanvert, die im Sommer eine tägliche Bewegung von 30 Zoll besitzen und im Winter eine nur halb so grosse Geschwindigkeit gezeigt haben.

230. Die Fähigkeit des Eises sich dem Kanal, durch

*) Die Thatsachen, auf welche sich dieses Gesetz gründet, finden sich im Anhang dieses Kapitels.

welchen es geht, anzuschliessen, hat angesehene Gelehrte zu der Annahme gebracht, dass dasselbe eine zähe Substanz sei, und was wir beim ersten Anblick daran beobachten, scheint diese Voraussetzung zu unterstützen. Der Gletscher erweitert sich, biegt sich und verengert sich, und seine Mitte bewegt sich schneller als die Seiten; eine zähe Masse würde sich unfehlbar ebenso verhalten. Aber die feinsten Versuche über die Fähigkeit des Eises, einer Spannung nachzugeben oder sich wie Theriak, Honig oder Theer zu dehnen, haben solche Dehnbarkeit nicht erkennen lassen. Giebt es denn aber etwa eine andere physikalische Eigenschaft, welcher die Accommodationsfähigkeit des Gletschereises zugeschrieben werden kann?

231. Wir wollen uns dem Gegenstande Schritt für Schritt nähern. Wir wissen, dass sich beständig von der freien Oberfläche einer Flüssigkeit Dampf entwickelt, dass die Theilchen an der Oberfläche die Freiheit ihres gasartigen Zustandes eher erreichen als die Theilchen im Inneren der Flüssigkeit. Naturgemäss können wir erwarten, dass es sich ebenso bei dem Eise verhält; dass, wenn die Temperatur einer Eismasse durchgängig erhöht wird, die Theilchen an der Oberfläche die ersten sein werden, welche die grössere Freiheit des flüssigen Zustandes erlangen, denn hier sind sie an einer Seite wenigstens vollkommen frei von der Einwirkung der umgebenden Theilchen. Vorausgesetzt also, zwei Eisstücke, welche durch und durch die Temperatur 0° haben und bei dieser Temperatur an ihren Oberflächen schmelzen, werden mit den schmelzenden Flächen dicht an einander gebracht; was wird wohl die Folge sein? Wir versetzen dadurch gleichsam diese Flächen nach dem Mittelpunkte des Eises, wo die Bewegung jedes Atomes ringsum durch seine Nachbarn gehemmt wird. Wie sich mit Recht an-

nehmen lässt, wird die freie Bewegung des flüssigen Zustandes an jedem Punkte, wo die Flächen sich berühren, angehalten, und die zwei Stücke frieren da aneinander. Lassen Sie uns das Experiment machen. Hier sind zwei Eisstücke, die ich eben mit einer Säge auseinander geschnitten habe, und deren flache Seiten ich nun aneinander lege. Die Berührung während einer halben Minute wird genügen. Sie sind nun aneinander gefroren, und wenn ich eines ergreife, so kann ich sie beide aufheben.

232. Dies ist die Wirkung, auf welche Faraday zuerst im Juni 1850 aufmerksam machte, und welche nun unter dem Namen Regelation bekannt ist. An einem heissen Sommertage bin ich in einen Laden im Strand (Strasse in London) gegangen, wo am Schaufenster Eisstücke in einem Becken ausgestellt waren, und habe mit des Verkäufers Erlaubniss das oberste Stück Eis gefasst und damit den ganzen Berg von Stücken aus der Schüssel gehoben. Obgleich das Thermometer damals auf 27° C. stand, waren die Eisstücke mit ihren Berührungspunkten aneinander gefroren. Selbst in warmem Wasser tritt diese Erscheinung ein. Ich habe hier ein Becken voll Wasser, so warm es meine Hand ertragen kann; ich tauche diese zwei Eisstücke hinein und halte sie im Wasser eine Weile aneinander. Trotz der anwesenden warmen Flüssigkeit sind sie zusammengefroren. Ein hübsches Experiment von Faraday besteht darin, eine Anzahl kleiner Eisstücke in eine Schüssel voll Wasser zu thun, welche tief genug ist um sie schwimmen zu lassen. Wenn ein Stück das andere auch nur an einem einzigen Punkte berührt, tritt augenblicklich Regelation ein. So kann man eine Reihe von Stücken einander berühren lassen, dann das Endstück anfassen und damit alle anderen nachziehen. Wenn wir zwei Stücke, die auf

diese Weise an ihren Berührungspunkten verbunden sind, zu biegen suchen, trennen sich die gefrorenen Punkte plötzlich durch Bruch, aber zugleich kommen andere Punkte mit einander in Berührung, zwischen denen nun Regelation eintritt. So könnte man ein Rad von Eis über eine Eisfläche rollen lassen, wobei die Verbindungspunkte unaufhörlich mit krachendem Geräusch auseinander gebrochen und andere dafür ebenso schnell durch Regelation wieder hergestellt würden. Vermöge dieser Eigenschaft der Regelation kann Eis viele der Erscheinungen zeigen, die gewöhnlich nur bei zähen Körpern vorkommen *).

233. Hier zum Beispiel ist eine gerade Eisstange. Wenn ich sie nach und nach durch eine Reihe von Formen gehen lasse, deren jede mehr gebogen ist als die vorige, kann ich sie zuletzt zu einem Halbringe machen. Die gerade Stange bricht, wenn sie in die gekrümmte Form gezwängt wird; aber durch Fortsetzung des Druckes kommen neue Flächen miteinander in Berührung, und der ununterbrochene Zusammenhang der Masse wird wieder hergestellt. Ich nehme eine Hand voll dieser kleinen Eisstückchen und drücke sie zusammen; sie frieren mit ihren Berührungspunkten zusammen und bilden nun eine fest zusammenhängende Masse. Das Formen eines Schneeballs veranschaulicht, wie Faraday bemerkt, dasselbe Princip. Damit er zusammenfrieren kann, muss der Schnee 0° haben und feucht sein. Ist er unter 0° und trocken und wird gedrückt, so verhält er sich wie Salz. Das Ueberschreiten von Schneebrücken, die in den oberen Regionen der Schweizer Gletscher vorkommen, wird oft

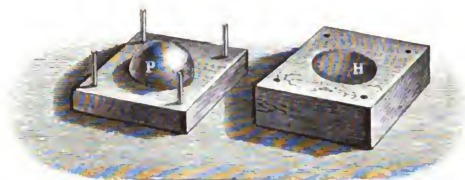
*) Siehe Anhang dieses Kapitels: Anmerkung über die Regelation der Schneekörner.

nur durch die Regelation der Schneekörner ermöglicht. Der Alpensteiger betritt die Masse vorsichtig und verursacht, dass Regelation zwischen den Schneekörnern stattfindet. Er erhält hierdurch einen so festen Boden, wie er ohne die Einwirkung der Regelation gar nicht zu erreichen wäre; denjenigen, welche an solche Wege nicht gewöhnt sind, muss das Ueberschreiten von Schneebrücken, die sich oft über Klüfte von 100 und mehr Fuss Tiefe spannen, als ein ganz grauenhaftes Unternehmen erscheinen.

234. Wenn ich diese Masse Eisstückchen noch weiter zusammendrücke, bringe ich sie einander noch näher. Meine Hand kann sie jedoch nicht ganz dicht zusammenpressen. Ich lege sie also in diese Form von Buchsbaumholz, welche einen flachen Cylinder bildet, decke ein flaches Stück Buchsbaum darüber und bringe beides zwischen die Platten einer kleinen hydraulischen Presse, womit ich dann die Masse kräftig in die Form drücke. Ich lasse nun im Drucke nach und hole die Substanz heraus: sie ist zu einem fest zusammenhängenden Eiskuchen geworden. Diesen bringe ich in diese linsenförmig ausgehöhlte Form und presse ihn von Neuem. Er wird natürlich durch den Druck zermalmt, aber neue Punkte kommen in Berührung miteinander, und nun ist die Masse zu einer Eislinse geworden. Nun thue ich die Linse in diese halbkugelförmige Höhlung *H* (Fig. 58 a. f. S.), decke darüber ein Brett mit einem halbkugeligen Vorsprung *P*, welcher die Höhlung nicht ganz ausfüllt, und presse die Masse hinein. Das Eis, welches einen Augenblick vorher noch eine Linse war, wird nun in den Raum zwischen den beiden halbkugelförmigen Flächen gedrückt. Beim Wegnehmen des Deckels mit der Erhöhung sehen Sie die innere Fläche eines Napfes von klarem Eise. Ich nehme ihn aus der Form, und hier ist er nun, ein halbrunder Napf, den man mit

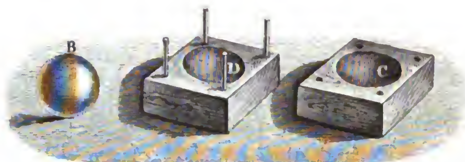
kaltem Sherry füllen könnte, ohne dass ein Tropfen herausliefe. Ich kratze hier mit einem Meissel eine Quantität Eis von diesem Block, bringe dann die schwammige

Fig. 58.



Masse in diese halbkugelförmige Höhlung *C* (Fig. 59), drücke sie hinein, füge mehr Eis hinzu, und thue endlich eine andere halbkugelförmige Höhlung *D* darauf, wodurch die Masse als eine Kugel zwischen beiden eingeschlossen wird. Wenn wir nun die Presse wirken lassen, wird die Substanz allmählig immer compacter. Ich thue

Fig. 59.



noch mehr davon hinzu und drücke wieder. Dadurch wird die Masse härter und härter, und nun haben Sie einen Schneeball vor sich, wie Sie ihn noch niemals zu sehen bekamen. Es ist eine Kugel von hartem, klarem Eise *B*. Sie sehen also wie zerbrochenes Eis durch Druck fest zusammengefügt werden kann, und wie vermöge die-

ser Eigenschaft der Regelation, wodurch die berührenden Flächen der Eisstückchen gleichsam aneinander gekittet werden, die Substanz in jede beliebige Form gebracht werden mag. Lohnte das Experiment der Mühe, so würde ich ein Seil von Eis aus diesem Blocke machen und dann das Seil zu einem Knoten schürzen können. Natürlich kann auch nichts leichter sein, als mit Hülfe passender Formen kleine Statuen von derselben Masse zu verfertigen.

235. Es begreift sich leicht, wie eine Substanz, die mit dieser Fähigkeit ausgestattet ist, durch die engen Schluchten der Alpen gedrängt werden, sich biegen und so den Windungen der Alpenthäler anschliessen kann, und auch eine verschiedene Bewegung ihrer Theile zulassen mag, ohne doch ein sichtbares Merkmal von Zähigkeit zu besitzen. Die Hypothese der Zähigkeit, zuerst von Rendu aufgestellt und dann von Professor Forbes mit so viel Geschick ausgearbeitet, giebt in der That von einer Hälfte der Erscheinungen Rechenschaft. Wo Druck ins Spiel kommt, ist das Verhalten des Eises scheinbar das eines zähen Körpers; wo Spannung stattfindet, hört die Aehnlichkeit mit einem zähen Körper vollständig auf.

236. Ich habe also in der Kürze die Erscheinungen der jetzt bestehenden Gletscher geschildert, so weit sie mit unserm heutigen Gegenstande in Verbindung stehen, aber derjenige, welcher die Gebirgsregionen wissenschaftlich durchforscht, begegnet bald Erscheinungen, die seinen Geist in eine Zeit zurücktragen, da der Zustand der Dinge ein wesentlich anderer war als heutzutage. Die unverkennbaren Spuren, die sie hinterlassen haben, zeigen, dass sich einst grosse Gletscher an Stellen ausdehnten, von denen sie seit vielen Jahrtausenden verschwunden

sind. Gehen Sie zum Beispiel zum Aargletscher in den Berner Alpen, und beachten Sie seine gegenwärtigen Leistungen; sehen Sie sich die Felsen an seinen Seiten an, wie sie jetzt vom vorbeigehenden Eise abgerundet. polirt und geschrammt sind, und wenn Sie durch geduldige und mannigfache Uebung Ihr Auge und Ihren Sinn für diese Sachen geschärft haben. so gehen Sie am Gletscher hinab, seinem Ende zu, wobei Sie immer die Wirkungen von Gletscherthätigkeit im Auge behalten. Wenn dann das Eis aufhört, gehen Sie das Thal weiter hinab bis zur Grimsel: Sie werden überall dieselben unverkennbaren Zeichen bemerken. Die Felsen, welche sich aus dem Thalbette erheben, sind abgerundet wie Hammelrücken. Dies sind die „roches moutonnés" von Charpentier und Agassiz. Sie sehen auf ihnen die breiteren Rinnen vom Eise gefurcht und auch die feinen Schrammen, die von Kieselsteinen gekratzt sind, welche der Gletscher als eine Art Schmirgel an der unteren Fläche mitführte. Alle Felsen der Grimsel sind auf diese Weise abgeschliffen worden. Gehen Sie das Haslithal hinunter und beachten Sie die Felswände rechts und links. Ohne den Schlüssel, den Sie nach meiner Voraussetzung jetzt besitzen, würden Sie in einem Lande der Räthsel sein; aber mit dem Schlüssel wird Alles klar, Sie finden überall die bekannten Schrammen, Rinnen und Furchen. Im Grunde des Thales sehen Sie die Felsen an einzelnen Stellen zu kuppelförmigen Massen abgefeilt und an anderen so glatt polirt, dass um sie überschreiten zu können, Stufen eingehauen werden müssen, selbst wenn die schiefe Ebene nur mässig geneigt ist. Auf der ganzen Länge des Weges nach Meyringen und darüber hinaus häufen sich solche Spuren, wenn Sie die Nachforschung noch weiter zu verfolgen wünschen. Zu einer ersten Lection im Erkennen

der Spuren ehemaliger Gletscher kann kein besserer Boden gefunden werden als dieser.

237. Aehnliche Spuren finden sich in dem Rhonethal; Sie können sie 80 Meilen weit durch das Thal verfolgen, bis sie sich endlich im Genfer See verlieren. Aber auf dem gegenüberliegenden Ufer im Canton Waadt kommen die Spuren an den Seiten des Jura wieder zum Vorschein. Auf den Kalkabhängen sind allenthalben die Granitblöcke vom Montblanc verstreut. Auch zeigen rechts und links die Nebenthäler des grossen Rhonethales, dass sie einst mit Eis gefüllt waren. Auf der italienischen Seite der Alpen sind die Spuren womöglich noch staunenerregender als auf der Nordseite. So gross die heutigen Gletscher auch denen erscheinen, die sie ihrer ganzen Ausdehnung nach durchforschen, sind sie doch reine Pigmäen in Vergleich mit ihren Vorgängern.

238. Nicht bloss in der Schweiz, nicht nur in der Nachbarschaft noch bestehender Gletscher lassen sich diese wohlbekannten Spuren ehemaligen Eises erkennen; auf den Hügeln von Cumberland liegen sie fast so klar da, wie in den Alpen. Wo der nackte Fels lange Zeit hindurch der Einwirkung des Wetters ausgesetzt gewesen ist, sind die feineren Zeichen in den meisten Fällen verschwunden, und die einzigen gebliebenen Merkmale nur die warzenförmigen Gestalten der Felsen. Aber wenn man vom Felsen die schützende Erdrinde entfernt, die ihn bis dahin bedeckt hat, kommen oft ebenso scharf geritzte und glatt polirte Steinflächen zum Vorschein als die, welche von den Alpengletschern geritzt und polirt sind. Rings um Scawfell trifft man Spuren von ehemaligem Eise, sowohl in „roches moutonnés“ als in „blocs perchés“, und Thatsachen in Menge beweisen, dass Borrodale seiner Zeit von Gletschereis eingenommen war. Auch in Nordwales

haben die früheren Gletscher ihre Spur so deutlich auf den Felsen hinterlassen, dass die Jahrtausende, welche seither verflossen sind, selbst ihre oberflächlichsten Eindrücke nicht zu verwischen vermochten. Rings um Snowdon sind diese Beweise im Ueberfluss vorhanden. An der Südwestküste von Irland erheben sich die Reeks von Magillycuddy, welche sich aufwärts schief neigen und die feuchten Winde des Atlantischen Oceans mit ihren kalten Gipfeln auffangen. Reichlicher Niederschlag findet statt, und Regenwetter ist in Killarney der Normalzustand. In dieser feuchten Gegend ist jede Klippe mit reicher Vegetation bedeckt; aber die Dünste, welche jetzt als milder und befruchtender Regen herabkommen, fielen einst als Schnee, um grossartige Gletscher zu bilden. Das „schwarze Thal" war einst mit Eis gefüllt, welches die Abhänge des „Purpurberges" glättete, indem es sich zum „oberen See" hinabbewegte. Der Grund und Boden, welchen jetzt der See einnimmt, war ganz und gar von dem ehemaligen Eise bedeckt, und jede Insel, die sich jetzt über seine Oberfläche erhebt, ist ein Gletscherdom.

Die phantastischen Namen, welche man vielen der Felsen gegeben hat, sind durch die Formen veranlasst, in welche sie der mächtige Hobel gebracht hat, der einst über sie hinglitt. Auch in Nordamerika finden sich solche Gletscherspuren. Aber die merkwürdigste Beobachtung ist in Bezug auf unseren Gegenstand kürzlich von Dr. Hooker auf einer Reise in Syrien gemacht worden; er fand, dass die berühmten Cedern des Libanons auf ehemaligen Gletschermoränen wachsen.

239. Es war lange eine Aufgabe der Naturforscher, die Bedingungen, welche die Bildung dieser ungeheuren Eismassen erlaubten, festzustellen, und eine Uebersicht der Lösungen, welche von Zeit zu Zeit versucht wurden,

dürfte wohl lehrreich sein. Allerdings habe ich keine neue Hypothese zu bieten, aber immerhin scheint es möglich, unseren Nachforschungen eine genauere Richtung und ein bestimmteres Ziel zu geben. Alle Naturforscher, deren Schriften über diesen Gegenstand ich kenne, glaubten, es handle sich darum, die Kälte zu erklären. Einige bedeutende Männer waren der Ansicht, welche noch immer ihre Vertreter findet, dass die niedrige Temperatur während der Gletscherperiode einer zeitweiligen Verminderung der Sonnenstrahlung zuzuschreiben sei. Andere haben die Vermuthung aufgestellt, dass unser Sonnensystem während seiner Bewegung durch den Weltraum Regionen von niedriger Temperatur durchwandert habe, und dass die ehemaligen Gletscher während seines Durchgangs durch diese Regionen ihre Entstehung fanden. Andere dagegen haben durch eine andere Vertheilung von Land und Wasser die Temperatur zu erniedrigen gesucht. Wenn ich anders die Schriften jener bedeutenden Männer recht verstehe, welche die obenerwähnten Hypothesen begründet und vertheidigt haben, so scheinen die Meisten unter ihnen die Thatsache gänzlich ausser Acht gelassen zu haben, dass die ungeheure Ausdehnung der Gletscher in längstverflossenen Zeiten einen ebenso strengen Beweis für den Einfluss von Wärme als für die Wirkung von Kälte liefert.

240. Kälte allein kann keine Gletscher hervorrufen. Die schärfsten Nordostwinde mögen hier in London den Winter hindurch wehen, ohne eine einzige Schneeflocke mitzubringen. Die Kälte muss einen passenden Gegenstand für ihre Wirkungen haben, und dieser Gegenstand — die Wasserdünste der Luft — ist das directe Product der Wärme. Wir wollen diese Gletscherfrage in eine andere Form bringen. Die latente Wärme der Wasser-

dünste ist bei der Temperatur ihrer Entstehung in den Tropen etwa 1000° F., denn die latente Wärme steigt in dem Maasse als die Temperatur, bei der Verdunstung stattfindet, sinkt. Ein Pfund Wasser, welches am Aequator verdunstet ist, hat also tausendmal die Quantität Wärme verbraucht, welche ein Pfund der Flüssigkeit um 1° F. in der Temperatur erhöhen würde. Aber die Wärmemenge, welche ein Pfund Wasser um 1° erhitzen würde, könnte ein Pfund Gusseisen um 10° erwärmen: also, die einfache Verwandlung von einem Pfunde Wasser des Oceans in Dunst unter dem Aequator erfordert eine Wärmemenge, welche hinreicht, die Temperatur eines Pfundes Gusseisen um 10000° zu erhöhen. Aber der Schmelzpunkt von Gusseisen ist 2000° F., daher würde für die Erzeugung von jedem Pfunde Wasserdunst eine Wärmemenge durch die Sonne ausgegeben, welche genügt, 5 Pfund Gusseisen auf seinen Schmelzpunkt zu bringen. Man denke sich also jeden dieser alten Gletscher mit seiner Eismasse 5 mal vergrössert und an Stelle der so vervielfachten Eismasse eine gleiche Quantität weissglühenden schmelzenden Gusseisens; dann werden wir ein genaues Bild von der Thätigkeit der Sonne bei der Erzeugung der alten Gletscher haben. Setzen Sie für das kalte Eis heisses Eisen, unsere Forschung würde dann darauf ausgehen, die hohe Temperatur der Gletscherperiode zu erklären, und wahrscheinlich würden manche der oben angeführten Hypothesen gerade umgekehrt auftauchen.

241. Es ist ganz offenbar, dass wir den Gletschern die Quelle ihres Ursprungs abschneiden würden, wenn wir eine schwächere Sonneneinwirkung annähmen, möge sie nun von einer Störung der Ausstrahlung herrühren, oder von dem Eintritt des ganzen Sonnensystems in Regionen von

niederer Temperatur. Grosse Massen Gebirgseises deuten unfehlbar auf das Dasein angemessener Quantitäten von Wasserdämpfen und eine verhältnissmässig grosse Einwirkung von Seiten der Sonne hin. Wenn Sie in einem Destillirapparate die destillirte Flüssigkeit vermehren wollten, würden Sie gewiss nicht versuchen, die niedere Temperatur, die zur Condensation erforderlich ist, dadurch zu erlangen, dass Sie das Feuer unter Ihrem Siedekessel wegnähmen. Aber wenn ich es recht verstehe, ist dies gerade von den Forschern gethan worden, die jene alten Gletscher durch Verminderung der Sonnenwärme zu erklären suchten. Es ist ganz klar, dass zur Entstehung der Gletscher vor Allem ein vervollkommneter Condensator gehört. Wir können kein Jota der Sonnenwirkung entbehren, wir brauchen vorzüglich mehr Dampf; aber wir brauchen auch einen so mächtigen Condensator, dass dieser Dampf, statt flüssig in Regenschauern zur Erde zu fallen, so weit in seiner Temperatur erniedrigt wird, dass er als Schnee herabkommt. Auf diese Weise scheint mir die Aufgabe auf den einzigen Ausweg beschränkt zu sein, der zu ihrer Lösung führen kann.

Anmerkung.

Wenn man Eis zu formen gedenkt, ist es rathsam, zuerst die Form mit heissem Wasser zu befeuchten, wodurch das Herausnehmen der gepressten Masse erleichtert wird. Der Eisnapf, welcher in §. 234 vorkommt, kann einen äusseren Durchmesser von $2^1/_2$ bis 3 Zoll haben, aber die Dicke des Napfes sollte nicht einen Viertelzoll übersteigen. In meine eigenen Formen ist ein kegelförmiger Stöpsel eingesetzt, auf den man nur zu klopfen braucht, um das Eis herauszulösen.

Anhang zum sechsten Kapitel.

Auszug aus einer Vorlesung über das Mer-de-Glace *).

Aus einer Reihe von Beobachtungen, die während des Juli und August vorigen Jahres über das Mer-de-Glace von Chamouni gemacht worden sind, bildeten einige die Grundlage dieser Vorlesung. Das Gesetz, welches zuerst von (M. Agassiz und) Professor J. D. Forbes aufgestellt wurde, dass die mittleren Theile eines Gletschers sich schneller bewegen als die Seiten, wurde durch das Verhalten mehrerer Reihen von Stangen deutlich bestätigt, die man an verschiedenen Stellen quer über das Mer-de-Glace und quer über seine Nebengletscher eingeschlagen hatte. Die Theile des Mer-de-Glace, die ihm von den Nebengletschern zugeführt werden, konnte man vermöge der Moränen durch den ganzen Gletscher hin verfolgen. So lässt sich zum Beispiel der Theil des Hauptgletscherstromes, der von dem Gletscher des Géant kommt, sogleich von den Theilen, die von anderen Nebengletschern zugeführt werden, unterscheiden, indem ihm gänzlich die Trümmer von Moränen fehlen, die auf der Oberfläche der anderen liegen. Der Anfang von Schutt und Schmutz bildet eine deutliche Scheide zwischen beiden Theilen. Professor Forbes hat auf die Thatsache aufmerksam gemacht, dass

*) Gehalten in der Royal Institution von Grossbritannien, Freitag den 4. Juni 1858, von John Tyndall, F. R. S.

besonders die östliche Seite des Gletschers „ausserordentlich zerrissen“ ist, und er erklärt diese Zerrissenheit durch die Annahme, dass sich der Gletscher des Géant am schnellsten bewegt und in seinem Bestreben, die trägeren Gefährten mit sich zu ziehen, dieselben auseinander reisst, und dadurch die Klüfte und Verrenkungen hervorbringt, welche der östlichen Seite des Gletschers eigen sind. Der Sprecher sagte, dass nicht allzuviel Gewicht auf diese Erklärung zu legen sei. Es war eine der Vermuthungen, die während des Verlaufes einer Untersuchung beständig von Leuten der Wissenschaft aufgestellt werden, und deren Bestätigung oder Nichtbestätigung die Verdienste des Erfinders nicht beeinflusst. Die Verdienste von Forbes müssen allerdings auf weit ausgedehntere Grundlagen hin beurtheilt werden; und je mehr man seine Arbeiten mit denen anderer Forscher vergleicht, desto mehr sticht seine geistige Bedeutung hervor. Dem Sprecher genügte es nicht, zu sagen, dass das Buch von Professor Forbes das beste sei, was über diesen Gegenstand geschrieben wäre. Die Geisteskraft und wissenschaftliche Bildung, die in dem vortrefflichen Werke enthalten sind, machten es in der Schätzung des Naturforschers wenigstens werthvoller als alle anderen Bücher über diesen Gegenstand zusammengenommen *). Bei solcher Anerkennung seiner Verdienste lassen Sie uns frei und unparteiisch seine Angaben mit den Thatsachen vergleichen. Um zu erproben, ob der Gletscher des Géant sich schneller bewege als seine Gefährten, wurden in der Nähe von dem Montanvert fünf verschiedene Linien quer über das Mer-de-Glace abgesteckt, und bei jeder derselben fand es sich, dass der Punkt schnellster Bewegung durchaus nicht auf dem Gletscher des

*) Seitdem das Obige geschrieben wurde ist mein „Glaciers of the Alps“ erschienen, und bald nach diesem wurde eine Erwiderung auf die Theile des Buches, welche sich auf die Arbeiten des M. Rendu bezogen, von Principal Forbes allgemein verbreitet. Länger als zwei Jahre habe ich mich nun schon einer Antwort gegenüber meinem ausgezeichneten Censor enthalten, nicht aus Unfähigkeit, sondern weil ich stets der Ansicht gewesen, dass es unter den hier vorliegenden Umständen besser ist, sich missverstehen zu lassen, als die Wissenschaft auf das Gebiet einer rein persönlichen Streitsache herabzuziehen.

Géant liege, sondern ziemlich nahe an die östliche Seite des Gletschers gerückt sei. Diese Messungen zeigen, dass die oben erwähnte Vermuthung unhaltbar ist, dafür wird aber Professor Forbes die Abweichung des Punktes schnellster Bewegung von der Mitte des Gletschers ohne Zweifel als sehr wichtig für seine Theorie betrachten. An der Stelle, wo diese Messungen gemacht wurden, wendet der Gletscher seine convexe Biegung der Ostseite des Thales zu, und seine concave liegt gegen den Montanvert. Wir wollen die Analogie noch weiter verfolgen als Forbes, der den Gletscher des Géant mit einem starken, schnellfliessenden Strome vergleicht. Wir wollen fragen, wie ein Strom sich verhalten würde, wenn er um eine solche Biegung striche, wie wir sie hier haben. Der Punkt schnellster Bewegung würde unzweifelhaft an der Seite der Strommitte liegen, welcher sie ihre convexe Biegung zuwendet. Kann dies auch bei dem Eise der Fall sein? Wenn es so wäre, müsste der Punkt grösster Geschwindigkeit sich gegen die westliche Seite des Thales hin verschieben, wenn der Gletscher sich so wendet, dass seine convexe Krümmung an der westlichen Seite des Thales liegt. Solche Biegung findet hinter der Uebergangsstelle, genannt Les ponts, statt, und hier wurde nun die eben ausgesprochene Ansicht geprüft. Es bestätigte sich bald, dass der Punkt schnellster Bewegung hier auf einer anderen Seite der Mitte lag, als man es weiter unten gefunden hatte. Aber um das Ergebniss mit numerischer Genauigkeit feststellen zu können, wurden in bestimmter Entfernung von der Westseite des Gletschers Stangen eingeschlagen und ihnen gegenüber andere, in gleicher Entfernung von der Ostseite. Die Resultate dieser Messungen sind auf folgender Tabelle gegeben, deren Zahlen Zoll bedeuten:

Erstes Paar.	Zweites Paar.	Drittes Paar.	Viertes Paar.	Fünftes Paar.
Westlich 15	Westlich $17^1/_4$	Westlich $22^1/_4$	Westlich $23^3/_4$	Westl. $23^3/_4$.
Oestlich $12^1/_2$	Oestlich $15^1/_2$	Oestlich $15^1/_2$	Oestlich $18^1/_4$	Oestl. $19^1/_2$.

Man sieht hieraus, dass in jedem Falle die westliche Stange sich schneller bewegte als ihr östlicher Gefährte, und so keinen Zweifel mehr darüber liess, dass sich den Ponts gegenüber die westliche Seite des Mer-de-Glace am schnell-

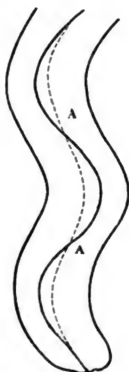
sten bewegt, ein Ergebniss, welches gerade das Gegentheil von dem bildet, was man bei anderer Thalbiegung erhielt.

Es ist jedoch noch eine andere Prüfung dieser Erklärung möglich. Zwischen den Ponts und dem Vorgebirge von Trélaporte hat der Gletscher wieder eine entgegengesetzte Biegung: seine convexe Krümmung ist der Aiguille du Moine zugewendet, welche sich an der Ostseite des Thales erhebt. Hier wurde eine Reihe Stangen über den Gletscher gesteckt und wie vorher die Schnelligkeit derjenigen, die in bestimmter Entfernung von der Westseite angebracht waren, mit der Schnelligkeit der in gleicher Entfernung von der Ostseite gesteckten verglichen. Die folgende Tabelle zeigt das Ergebniss der Messungen, und wie vorher bedeuten die Zahlen Zoll:

Erstes Paar.	Zweites Paar.	Drittes Paar.
Westlich $12\frac{3}{4}$	Westlich 15	Westlich $17\frac{1}{4}$
Oestlich $14\frac{3}{4}$	Oestlich $17\frac{1}{2}$	Oestlich 19

Hier finden wir, dass sich jedesmal der östliche Pfahl schneller bewegte als sein Gefährte. Der Punkt schnellster Bewegung hat also noch einmal die Axe des Gletschers gekreuzt und liegt wieder auf ihrer östlichen Seite.

Fig. 60.



Wenn wir die Punkte schnellster Bewegung an einer grossen Zahl von Querschnitten bestimmen und diese Punkte verbinden, so haben wir die Curve, die von dem genannten Punkte beschrieben wird. Fig. 60 stellt eine Skizze des Mer-de-Glace vor. Die punktirte Linie ist längs der Mitte des Gletschers gezogen; die schwarze Linie, welche die Axe des Gletschers bei den Punkten *A A* durchschneidet, bezeichnet also den Ort, wo die Bewegung am schnellsten ist. Sie bildet tiefer geschlängelte Krümmungen als das Thal selbst und kreuzt die Centrallinie des Thales bei jedem Punkte, wo die Biegung sich ändert. Der Sprecher machte auf die Thatsache aufmerksam, dass die

Städte an den Ufern eines Flusses gewöhnlich auf der convexen Seite der Stromkrümmung liegen, wo das schnelle Vorüberrauschen des Wassers Verschlammung unmöglich macht. Ein Beispiel dafür war die Themse, und dasselbe Gesetz, welshes ihren Lauf regelte und die Lage der Städte an ihren Ufern bestimmte, wirkt augenblicklich mit geheimer Kraft in den Alpengletschern.

Eine andere Eigenthümlichkeit der Gletscherbewegung soll nun erörtert werden. Ehe man noch irgend welche Beobachtungen darüber gemacht hatte, kam Professor Forbes auf die Vermuthung, dass die untersten Theile des Gletschers, welche unmittelbar auf dem Gletscherbette ruhen, durch Reibung gegen das letztere aufgehalten werden müssten. Diese Ansicht ward später sowohl durch seine eigenen Beobachtungen, als auch durch die von M. Martins bestätigt. Nichtsdestoweniger macht der Stand unserer Kenntnisse über den Gegenstand weitere Bestätigung der Thatsache höchst wünschenswerth. Eine seltene Gelegenheit, diese Frage zu prüfen, bot ein fast senkrechter Eisabhang dar, welcher die eine Seite des Glacier du Géant bildete und in der Nähe des Tacul sich frei der Beobachtung darbot. Der Abhang war etwa 140 Fuss hoch. Am Gipfel und am Fusse desselben wurden Stangen befestigt, und es gelang dem Vortragenden sogar vermittels in das Eis gehauener Stufen eine Stange an der Seite des Abgrunds etwa 40 Fuss über dem Boden einzuschlagen. Nach Verlauf einer genügenden Anzahl Tage wurde der Fortschritt der drei Stangen gemessen. Wenn man daraus die tägliche Bewegung berechnet, ergiebt sich folgendes:

Oberste Stange	6,00	Zoll
Mittlere Stange	4,59	„
Unterste Stange	2,56	„

Wir sehen hieraus, dass sich die oberste Stange mit mehr als doppelt so grosser Geschwindigkeit bewegt als die unterste, während die Schnelligkeit der mittleren Stange zwischen beiden liegt. Aber es scheint auch, dass die Steigerung der Schnelligkeit nach oben nicht proportional zu der Entfernung von der Bodenfläche ist, sondern in schnellerem Verhältnisse

wächst. Bei einer Höhe von 100 Fuss über der Grundfläche würde die Schnelligkeit ohne Zweifel nicht wesentlich von der an der Oberfläche verschieden sein. Messungen, die an einer anstossenden Eisklippe gemacht wurden, bewiesen dies. Wir sehen hieran die vollständige Gültigkeit des Grundes, durch welchen Forbes erklärte, dass die Wände der Querspalten stets senkrecht bleiben. Allerdings wird eine Vergleichung der Ergebnisse mit seinen Voraussetzungen und Schlüssen gleichermaassen seinen Scharfsinn und ihre Wahrheit herausstellen.

Den gewaltigsten Eindruck vom Mer-de-Glace empfängt man durch die Aussicht von einem Punkte über der merkwürdigen Kluft, die unterhalb der Aiguille de Charmoz die Bergkette trennt und sicher die Aufmerksamkeit jedes Beschauers auf sich zieht, der von dem Montanvert aus hinüber blickt. Diesen Punkt, welcher auf der Karte von Forbes mit *G* bezeichnet ist, erreichte der Vortragende. Ein Tübinger Professor besuchte einst die Schweizer Gletscher, und als er diese scheinbar starren Massen in geschlängelte Thäler eingeschlossen sah, ging er nach Hause und schrieb ein Buch, in welchem er die Möglichkeit ihrer Bewegung kurzweg ableugnete. Eine Uebersicht von dem eben genannten Punkte würde ihn ohne Zweifel in seiner Meinung bestärkt haben, und allerdings könnte nichts mehr dazu geeignet sein, dem menschlichen Geiste einen Eindruck von der Grossartigkeit der dabei wirkenden Kräfte zu geben als der Anblick der drei Gletscherzuflüsse des Mer-de-Glace, wie sie sich bei Trélaporte durch den Hals des Thales zwängen. Aber wir wollen numerische Resultate anführen. Vor seiner Vereinigung mit seinen Gefährten misst der Glacier du Géant 3402 englische Fuss in der Breite. Ehe er durch das Andringen des Talèfre beeinträchtigt ist, hat der Glacier de Léchaud eine Breite von 2475 Fuss, während die Breite des Talèfrearmes vor seiner Mündung in den Léchaud, quer über das untere Ende der Cascade gemessen, nahezu 1914 Fuss beträgt. Diese Breiten summirt geben 7791 Fuss. Bei Trélaporte werden diese drei Arme durch eine 2691 Fuss weite Schlucht gezwängt, und ihre Mitte bewegt sich mit einer Schnelligkeit von 20 Zoll im

Tage. Das Resultat ist noch staunenerregender, wenn wir unsere Aufmerksamkeit auf einen einzelnen der Nebengletscher, den des Léchaud, beschränken. Vor seiner Vereinigung mit dem Talèfre hat der Gletscher eine Breite von $37^1/_2$ englischen Ketten (2475 Fuss). Bei Trélaporte wird der Eisstrom zu einem Streifchen von kaum 4 Ketten (264 Fuss) Breite, das heisst ungefähr zu einem Zehntel seines früheren Horizontaldurchmessers zusammengedrückt. Woher kommt die Kraft, die den Gletscher durch die Schlucht treibt? Der Vortragende meinte, sie müsse ein Druck von hinten sein. Andere Thatsachen führen auch darauf, dass der Glacier du Géant längs seines ganzen Verlaufes in Richtung seiner Länge in einem Zustande starker Pressung ist. Nehme man sich eine Reihe Punkte längs der Axe dieses Gletschers. Wenn diese Punkte während der Niederbewegung des Gletschers ihre Entfernungen zu einander völlig gleichmässig beibehielten, so könnte keine Pressung in Richtung der Länge stattfinden. Der mechanische Sinn dieses Ausdrucks auf eine Substanz, die wie Eis nachgiebt, angewendet, muss sein, dass die hinteren Punkte unaufhörlich gegen die vorderen vordringen. Dem Vortragenden kam es besonders darauf an, diese Ansicht, die ihm zuerst aus theoretischen Betrachtungen aufstiess, zu prüfen. Deshalb wurden drei Punkte ABC auf der Axe des Géant bestimmt; A lag am höchsten auf dem Gletscher. Die Entfernung zwischen A und B betrug 1635 Fuss, die zwischen B und C 1461 Fuss. Die tägliche Schnelligkeit dieser drei Punkte mit dem Theodoliten bestimmt war wie folgt:

A	20,55 Zoll
B	15,43 „
C	12,75 „

Das Resultat bestätigt vollkommen die gemachten Voraussetzungen, die hinteren Punkte nähern sich unaufhörlich den vorderen und das in genügendem Grade, um einen Längenabschnitt dieses Gletschers, der 3000 Fuss misst, täglich um 8 Zoll zu verkürzen. Wenn dies Verhältniss in allen Jahreszeiten das gleiche wäre, würde sich die Verkürzung im Jahre auf 240 Fuss belaufen. Betrachten wir die Festigkeit dieses

Gletschers und die ziemlich gleichmässige Weite des Thales, welches er füllt, so muss eine solche Thatsache wohl Staunen erregen, und die Kraft, die hierbei zum Vorschein kommt, ist nach der Ansicht des Vortragenden jedenfalls auch die Hauptursache, welche den Gletscher durch die Enge des granitenen Schraubstocks bei Trélaporte treibt.

Vermöge welcher Eigenschaft kann denn nun Eis so gebogen und gedrückt werden und seine Form in solcher Weise verändern, wie es in den vorhergehenden Beobachtungen beschrieben ist? Die einzige Theorie, welche heut zu Tage noch eine ernstere Beachtung verdient, ist die des Professor Forbes, welcher diese Wirkungen der Zähigkeit des Eises zuschreibt. Der Vortragende stimmte mit dieser Theorie nicht überein, da ihm der Ausdruck Zähigkeit in dieser Anwendung auf die physikalische Zusammensetzung des Eises völlig unpassend schien. Er hatte bereits Eis zu Schalen geformt, es zu Ringen gebogen und seine Form durch künstlichen Druck auf alle mögliche Weise verändert; ja, er zweifelte nicht an der Möglichkeit, eine feste Masse norwegischen Eises, welche auf dem Tische lag, in eine Statuette umformen zu können; aber würde Zähigkeit die richtige Benennung für den Process des Brechens und Wiedergefrierens sein, durch welchen dieses Resultat erreicht ward? Seiner Ansicht nach nicht. Eine Eismasse bei 0⁰ lässt sich sehr leicht zerbrechen, aber ihr Bruch ist so scharf und bestimmt, wie der einer Glasmasse. Man findet kein sichtbares Merkmal von Zähigkeit.

Der Grundcharakter der Zähigkeit ist das Nachgeben bei Spannung, wobei das Gefüge der Substanz, nachdem sie nachgegeben hat, sich wieder im Gleichgewichtszustande befindet, ohne in seine frühere Lage zurückzustreben; und die Substanzen, die Professor Forbes zur Erläuterung der physikalischen Eigenschaften eines Gletschers anführt, besitzen die Fähigkeit, sich ausziehen zu lassen, in auffallend hohem Grade. Allein man hat mit Recht eingewendet, dass wir nicht berechtigt sind die Zähigkeit blos deshalb zu leugnen, weil Handstücke von Eis sie nicht zeigen; ebenso wie wir nicht schliessen dürfen, dass Eis nicht blau ist, weil kleine Stückchen der Substanz die Farbe nicht erkennen lassen. Um die Frage der

Zähigkeit zu prüfen, müssten wir uns also an den Gletscher selbst wenden. Das wollen wir thun. Erstens ist bereits die Aehnlichkeit zwischen der Bewegung eines Gletschers durch ein geschlängeltes Thal und der eines Flusses durch ein geschlängeltes Bett herausgehoben worden. Aber in einem wichtigen Punkte hört die Aehnlichkeit auf: der Fluss streicht nämlich um die Krümmungen, ohne dass sein Zusammenhang gestört wird; dasselbe würde ein Strom von Theriak, Honig, Theer oder geschmolzenem Kautschuk thun. Die zähe Masse streckt sich; aber die Eismasse bricht und die Folge davon ist jener „ausserordentliche Reichthum an Gletscherspalten", den Professor Forbes selbst anführt. Zweitens wurde die Neigung des Mer-de-Glace und seiner drei Zuflüsse gemessen und der Zusammenhang zwischen den Querspalten und Veränderungen der Neigung genau aufgezeichnet. Jeder Alpenreisende weiss, welche wirre Aufeinanderhäufung von Eisblöcken der Abfall des Mer-de-Glace vom Chapeau abwärts bildet. Ein Gleiches findet bei der Eiscascade des Talèfre statt. Während sich das Eis vom Jardin herabkommend dem Falle nähert, bilden sich grosse Querschlünde, die endlich so dicht auf einander folgen, dass die Eismassen zwischen ihnen zu blossen Platten und Keilen zusammenschwinden, auf welchen, wer sie erforschen will, vorsichtig entlang kriechen muss. Die Platten und Keile sind in manchen Fällen durch einen seitlichen Druck zusammengebogen und gefaltet, und auf einzelne Massen schienen wirbelnde Kräfte eingewirkt zu haben, die zum Beispiel grosse Eispyramiden um 90° drehten, so dass ihre innere Schichtung nun im rechten Winkel zu ihrer normalen Lage steht. Das Eis stürzt dann den Fall hinunter, und die Theile, die den Blicken ausgesetzt sind, bilden hier eine phantastische Anhäufung gefrorener Blöcke, Spitzen und Thürme, von denen einzelne aufrecht, andere geneigt stehen, die dann von Zeit zu Zeit mit einem donnerähnlichen Geräusch herabstürzen und die Eisklippen, auf die sie treffen, zu Pulver zermalmen. Dass das Eis durch diesen Ausgang dringen kann, ist als ein Beweis für seine Zähigkeit angeführt worden; aber die eben gegebene Beschreibung entsprach nach der Meinung des Vortragenden nicht unseren Begriffen von einer

zähen Masse. Der Beweis der Nichtzähigkeit der Substanz muss jedoch an solchen Stellen gesucht werden, wo der Wechsel in der Neigung nur sehr gering ist. Ungefähr dem Angle gegenüber findet eine Aenderung von 4 zu 9 Graden statt, und die Folge davon ist ein System von Querspalten, welche den Gletscher hier völlig unüberschreitbar machen. Weiter hinauf am Gletscher entstehen Querklüfte durch eine Aenderung der Neigung von 3 auf 5 Grad. Der Winkel dieser Aenderung in der Neigung ist genau in Fig. 61 angegeben;

Fig. 61.



die Biegung liegt beim Punkte B; sie ist kaum bemerkbar, und doch kann der Gletscher nicht über sie hinweggehen, ohne auseinander zu brechen. Drittens rühren die Spalten von einem Zustande der Spannung her, aus welchem das Eis sich frei macht, indem es bricht, und die Geschwindigkeit, mit der sie sich erweitern, mag als Maassstab für die Grösse der Nachgiebigkeit angesehen werden, welche vom Eise verlangt wird. Sowohl die Plötzlichkeit ihrer Bildung, als auch die Langsamkeit, mit welcher sie sich erweitern, sprechen für die Nichtzähigkeit des Eises. Denn wäre die Substanz fähig, sich auch nur mit der geringen Geschwindigkeit zu strecken, mit der die Spalten sich erweitern, so brauchten die letzteren sich gar nicht zu bilden. Namentlich sind die Spalten am Rande des Gletschers entlang als Folge der schnelleren Bewegung seiner mittleren Theile bekannt, indem diese Bewegung die Seiten in einen Zustand der Spannung bringt, von welchem sie sich durch Bruch befreien. Nun ist es leicht zu berechnen, um wie viel sich das Eis strecken müsste, um sich dem schnelleren Strom in der Mitte anzuschliessen. Nehmen wir einen Gletscher von einer halben Meile Breite an. Ein gerader Querschnitt oder Querstreif eines solchen Gletschers wird in 24 Stunden zu einer Curve gebogen. Die Enden des Streifes bewegen sich ein wenig, die Mitte bewegt sich mehr. Wir wollen voraussetzen, dass die Tiefe des Bogens, den der

Streif nach 24 Stunden bildet, ein Fuss sei, was eine gute Durchschnittszahl ist. Wenn wir die Sehne dieses Bogens und seine Tiefe kennen, so können wir seine Länge berechnen. Beim Mer-de-Glace, welches ungefähr eine halbe englische Meile breit ist, würde die erforderliche Streckung in 24 Stunden ungefähr den 80. Theil eines Zolles betragen. Wenn dem Gletscher mit irgend welchem Recht die Eigenschaft der Zähigkeit zugeschrieben werden könnte, so würde er gewiss im Stande sein, dieser bescheidenen Anforderung zu genügen. Aber er kann es nicht. Statt sich wie ein zäher Körper unter dieser leisen Spannung zu strecken, bricht er wie ein ausserordentlich zerbrechlicher Körper, und in Folge dessen entstehen die Spalten am Rande. Es mag eingewendet werden, dass es nicht billig sei, die Spannung gleichmässig über die ganze Länge der Curve auszudehnen; aber wenn wir auch die Entfernung noch so sehr verkleinern, ein Rest muss stets bleiben, an dem sich die Nichtzähigkeit des Eises erkennen lässt.

Kurz und gut: zwei Gruppen von Thatsachen bieten sich dem Gletscherforscher dar, eine Gruppe steht in Uebereinstimmung mit der Annahme, dass das Eis zäh sei, die andere tritt ihr bestimmt entgegen. Wo Druck mit ins Spiel kommt, haben wir die erstere; wo Spannung stattfindet, die letztere. Beide Gruppen werden durch die Annahme, oder vielmehr die experimentell geprüfte Thatsache vereinigt, dass die Zerbrechlichkeit des Eises und seine Fähigkeit der Regelation es befähigen, seine Form zu verändern, ohne dadurch seinem ununterbrochenen Zusammenhang Abbruch zu thun.

Anmerkung über die Regelation der Schneekörner*).

Ich beobachtete diesen Morgen (am 21. März 1862) ein ausserordentlich interessantes Beispiel von Regelation. Eine

*) Phil. Mag. 1862, Vol. XXIII, pag. 312.

Schneeschicht, etwa 1 bis 2 Zoll dick, lag auf dem Glasdache eines kleinen Gewächshauses, in welches sich eine Thür von dem daran stossenden Hause öffnete. Leicht erwärmte Luft übte ihren Einfluss auf die innere Glasfläche und schmolz den Schnee, der das Glas unmittelbar berührte, fort, so dass die Schicht langsam das Glasdach hinunter glitt. Die Neigung des Daches war sehr mässig und die Bewegung entsprechend allmälig. Als die Schicht über den Rand des Daches hinauskam, tropfte sie nicht hinunter, sondern bog sich wie ein biegsamer Körper und hing etliche Zoll weit über den Rand hinunter. Der Zusammenhang der Schicht war durch die geneigten Längsrippen des Glasdaches in rechtwinklige Abtheilungen getrennt, und da durch locale Umstände eine Seite des Daches etwas mehr erwärmt war als die andere, bewegten sich die Abtheilungen der Schicht mit verschiedener Schnelligkeit und hingen verschieden tief über das Dach hinunter. Die gebogene und herabhängende Schneeschicht krümmte sich an einzelnen Stellen sogar nach innen zu in die Höhe.

Faraday hat gezeigt, dass sich kleine Eisstückchen, die im Wasser schwimmen, bei gegenseitiger Berührung augenblicklich aneinanderkitten, und dass man, nachdem eine Reihe solcher Eisstückchen aneinandergebracht sind, durch Anfassen des Endstückes die ganze Reihe nachziehen kann. Ein gleiches Aneinanderkitten muss unter den besagten Schneetheilchen stattgefunden haben, welche in das Wasser eintauchten, das auf der Glasfläche durch Schmelzung erzeugt war. Aber Faraday hat ferner auch gezeigt, dass eine wie in Angeln gehende Bewegung eintritt, wenn man durch seitlichen Stoss ein Stück vom anderen zu trennen sucht, dass man factisch ein Stück wie ein Rad um ein anderes laufen lassen könne, vermöge der unaufhörlichen Zerstörung und Wiederwirkung der Regelation.

Die Fähigkeit, sich in der Weise wie es diese Versuche zeigen, zu bewegen, macht es dem oben erwähnten Schnee leicht möglich, sich in besagter Weise zu biegen. Als die Stütze des Daches aufhörte, rollten die untersten Körner ohne Störung des Zusammenhanges übereinander und befähigten dadurch die Schneeschicht, sich wie eine zähe Masse zu biegen.

Das Aufrollen am Ende kam augenscheinlich von einer Zusammenziehung der inneren Fläche der Schicht, welche ohne Zweifel durch den gegenseitigen Anschluss der Schneekörner hervorgerufen wurde, wie sie durch Schmelzen langsam von ihrem Umfang verloren.

J. T.

Siebentes Kapitel.

Wärmeleitung, eine Mittheilung der Bewegung. — Gute Leiter; schlechte Leiter. — Leitungsvermögen der Metalle für Wärme. — Verhältniss des Leitungsvermögens für Wärme und Elektricität. — Einfluss der Temperatur auf die elektrische Leitung. — Einfluss der Molecularconstitution auf die Wärmeleitung. — Verhältniss der specifischen Wärme zur Wärmeleitung. — Theorie der Bekleidung: Rumford's Versuche. — Einfluss des mechanischen Gefüges auf die Wärmeleitung. — Kesselstein. — Die Sicherheitslampe. — Leitungsvermögen der Flüssigkeiten und Gase. — Versuche von Rumford und Despretz. — Abkühlender Einfluss des Wasserstoffgases. — Versuche von Magnus über das Leitungsvermögen der Gase.

---

242. Wir haben unseren Gegenstand jetzt wohl hinreichend kennen gelernt, um zwischen den wahrnehmbaren Bewegungen, welche von der Wärme hervorgebracht werden, und der Wärme selbst unterscheiden zu können. Wärme ist weder das Brausen des Windes, noch das Flackern der Flamme, noch das Aufkochen des Wassers, noch das Steigen der Thermometersäule, noch die Bewegung, welche dem Dampfe innewohnt, wenn er aus dem Kessel strömt, worin er zusammengepresst war. Dies sind Alles mechanische Bewegungen, und die Wärmebewegung kann sich in solche verwandeln; die Wärme selbst ist jedoch eine Molecularbewegung. Die Molecüle

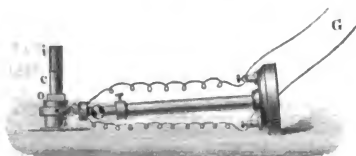
der Körper können sich jedoch bei dichter Gruppirung nicht in Schwingung befinden, ohne sich die Bewegung gegenseitig mitzutheilen. Auf diese von Atom zu Atom sich verbreitende Wärmebewegung müssen wir nunmehr unsere Aufmerksamkeit richten.

Hier ist ein Schürhaken, dessen Temperatur kaum wahrnehmbar ist. Derselbe ist für meine Empfindung ein harter schwerer Körper, der mich jedoch weder erwärmt noch abkühlt. Er hat in der Nähe des Feuers gelegen, und die Bewegung innerhalb seiner Theilchen ist gegenwärtig zufällig dieselbe, welche auch meine Nerven in Thätigkeit versetzt; es findet deshalb weder Mittheilung noch Entziehung von Wärme statt, sondern die Temperatur des Schürhakens einerseits, wie meine Empfindung von Wärme andererseits, bleiben unverändert. Ich halte jedoch das eine Ende des Hakens in das Feuer, es wird erwärmt; die Theilchen, welche mit dem Feuer in Berührung sind, gerathen in einen Zustand von intensiverer Schwingung. Die oscillirenden Atome prallen gegen ihre Nachbarn an, diese wieder an die zunächst liegenden, und auf diese Weise erklingt Molecularmusik längs der metallenen Stange. Die Bewegung wird in diesem Falle von Atom zu Atom mitgetheilt, und kommt schliesslich am entferntesten Ende des Hakens zum Vorschein. Wenn ich denselben jetzt berühre, so theilt sich seine Bewegung meinen Nerven mit, und bringt hier Schmerz hervor. Wir sagen die Stange ist heiss, und, populär ausgedrückt, habe ich mir die Hand verbrannt. Wir haben schon früher auseinandergesetzt, dass Fortführung der Wärme diejenige Art ihrer Uebertragung ist, wobei sie sich mit der Masse, worin sie enthalten ist, von Ort zu Ort bewegt; aber diejenige Art des molecularen Ueberganges, wobei jedes Atom die Bewegung von seinem

Nachbar empfängt und wieder an Andere abgiebt, jedoch selbst an seiner Stelle bleibt, wird Leitung der Wärme genannt.

243. Lassen Sie mich dieses Leitungsvermögen in einfacher Weise anschaulich machen. Ich habe hier eine Schüssel voll warmen Wassers, worein ich einen eisernen Cylinder von 1 Zoll Durchmesser und 2 Zoll Länge lege; dieser Cylinder soll nun meine Wärmequelle abgeben.

Fig. 62.



Ich lege meine thermo-elektrische Säule *o* (Fig. 62) mit der nackten Fläche nach oben gekehrt flach auf den Tisch und setze einen kupfernen Cylinder *c*, welcher jetzt die Temperatur dieses Zimmers besitzt, auf diese nackte Fläche. Wie Sie sehen, ist keine Ablenkung des Galvanometers wahrzunehmen. Ich setze nun meinen zuvor abgetrockneten warmen Cylinder, *i*, auf den kalten Cylinder, der auf der Säule ruht. Der obere Cylinder hat auch nur Bluttemperatur, aber Sie sehen, dass ich kaum Zeit zu dieser Bemerkung habe, ehe die Nadel zur Seite fliegt und hiermit anzeigt, dass die Wärme bis zur Oberfläche der Säule gedrungen ist. Auf diese Weise ist die Molekularbewegung zuerst von dem warmen Wasser auf den eisernen Cylinder übergegangen; dieser theilte sie dem kupfernen Cylinder mit, welcher sie seinerseits innerhalb weniger Secunden auf die Fläche der Säule übertrug.

244. Die verschiedenen Körper besitzen in verschiedenem Grade das Vermögen, die Molecularbewegung mitzutheilen, oder mit anderen Worten, die Wärme zu leiten. Das Kupfer, welches wir soeben gebraucht haben, besitzt zum Beispiel diese Fähigkeit in hohem Grade. Ich werde den kupfernen Cylinder nunmehr entfernen, und ihn, nachdem ich die Nadel auf 0° zurückkehren liess, durch diesen Glascylinder ersetzen. Auf diesen letzteren bringe ich wieder meinen eisernen Cylinder, welchen ich von Neuem durch Eintauchen in warmes Wasser erwärmt habe. Es zeigt sich jedoch keine Bewegung an der Nadel, und es dürfte auch noch lange dauern, ehe eine solche erfolgen könnte. Wir haben bereits drei Mal so lange gewartet als vorhin bei dem kupfernen Cylinder, und Sie sehen, die Nadel bleibt noch immer regungslos. Ich setze der Reihe nach Cylinder aus Holz, Stein, Kreide und feuerfestem Thon auf die Säule, und erwärme deren oberes Ende in derselben Weise; allein keine dieser Substanzen ist innerhalb des Zeitraumes, welchen wir auf einen Versuch verwenden können, im Stande, die Wärme auf die Säule überzuleiten. Die Molecüle dieser Substanzen sind dermaassen verflochten und verwickelt, dass sie unfähig sind, sich gegenseitig die Bewegung frei mitzutheilen. Diese Substanzen sind insgesammt schlechte Leiter. Hingegen setze ich, der Reihe nach, Cylinder von Zink, Eisen, Blei, Wismuth u. s. w. auf die Säule, und es wird sich zeigen, dass dieselben sämmtlich die Fähigkeit besitzen, die Wärmebewegung rasch durch ihre Masse hindurch fortzupflanzen. Im Vergleich zu Holz, Stein, Kreide, Glas und Thon sind sie also gute Wärmeleiter.

245. Im Allgemeinen sind Metalle die besten Wärmeleiter; doch ist auch hier die Regel nicht ohne Ausnahme.

Die Metalle unterscheiden sich jedoch auch merklich unter einander in Bezug auf ihr Leitungsvermögen. Zur Erläuterung hiervon werde ich einen Vergleich zwischen Kupfer und Eisen anstellen. Hier sind zwei mit den Enden aneinander stossende Stangen, *A B* und *A C* (Fig. 63), woran hölzerne, mit Wachs angeklebte Kugeln in gleichen Entfernungen vom Berührungspunkte befestigt sind. Ich setze eine Spirituslampe unter den Vereinigungspunkt, um die Enden der beiden Stangen zu erwärmen.

Fig. 63.



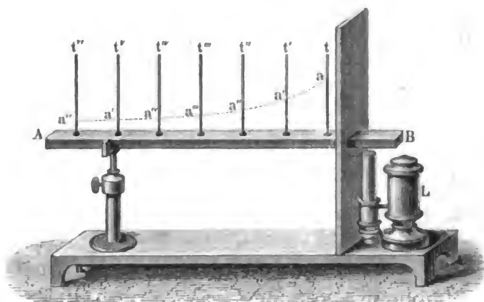
Die Wärme wird sich nach links und rechts in denselben verbreiten. Der Stab *AB* ist von Eisen, der Stab *A C* von Kupfer; Sie sehen, dass die Wärmeverbreitung sich im Kupfer, welches der bessere Leiter ist, auf eine grössere Entfernung hin ausdehnt, und dass auf dieser Seite eine grössere Anzahl von Kugeln herabfällt.

246. Einer der ersten Versuche, um das Wärmeleitungsvermögen der verschiedenen Körper mit Genauigkeit zu bestimmen, war von Franklin vorgeschlagen und von Ingenhouss ausgeführt worden. Dieser Versuch bestand darin, dass Ingenhouss eine Anzahl von Stäben aus verschiedenen Substanzen mit Wachs bekleidete, dann die Enden der Stäbe in heisses Oel tauchte, und nun beobachtete, bis zu welcher Entfernung hin das Wachs

auf jeder Stange schmolz. An den guten Leitern schmolz das Wachs in einer grösseren Entfernung, und diese Entfernung des Schmelzens lieferte ein Maass für das Leitungsvermögen des Stabes.

247. Fourier ersann eine zweite Methode, nach welcher Despretz eine Reihe von Versuchen ausführte, welche im Folgenden beschrieben sind. *AB* (Fig. 64) stellt einen Metallstab dar, welcher mit eingedrehten, zur Aufnahme von kleinen Thermometern bestimmten Löchern versehen war; am Ende des Stabes war eine Lampe als Wärmequelle angebracht, die Hitze verbreitete sich durch die Stange und erreichte zuerst das Thermometer *a*, hierauf *a'*, hierauf *a''* und so fort. Eine Zeit lang stieg das Quecksilber in den Thermometern, allein nach einiger Zeit wurde der Zustand des Stabes stationär, und sämmtliche Thermometer zeigten eine constante Temperatur an.

Fig. 64.



Je besser der Leiter war, desto geringer war der Unterschied zwischen dem Stande von je zwei aufeinander folgenden Thermometern. Die Abnahme oder der Abfall

der Wärme, wenn ich letzteren Ausdruck gebrauchen darf, vom heissen nach dem kalten Ende der Stange ist in den schlechten Leitern stärker als in den guten, und aus der Temperaturabnahme, welche die Thermometer anzeigen, können wir auf das Leitungsvermögen der Stange schliessen und dasselbe durch eine Zahl ausdrücken. Die Herren Wiedemann und Franz haben dieselbe Methode bei einer sehr wichtigen Untersuchung befolgt; allein anstatt der Thermometer wendeten sie die thermo-elektrische Säule in passender Weise modificirt an. Folgendes ist das Résumé der zahlreichen und sehr interessanten Resultate, welche diese Forscher erlangten:

Namen der Substanz	Leitungsvermögen für Wärme	Leitungsvermögen für Elektricität
Silber	100	100
Kupfer	74	73
Gold	53	59
Messing	24	22
Zinn	15	23
Eisen	12	13
Blei	9	11
Platina	8	10
Neusilber	6	6
Wismuth	2	2

248. Diese Tabelle zeigt, dass die Metalle in Bezug auf ihr Leitungsvermögen grosse Unterschiede gegenseitig zeigen. Wenn wir zum Beispiel das Leitungsvermögen von Silber gleich 100 setzen, so ist das des Neusilbers nur 6. Sie können diesen Unterschied auf sehr einfache Art anschaulich machen, indem Sie zwei Löffel, wovon der eine von Silber, der andere von Neusilber ist, in ein Gefäss mit heissem Wasser tauchen. Nach kurzer Zeit werden Sie den Stiel des silbernen Löffels viel heisser finden, als den des anderen, und wenn Sie etwas Phosphor

auf die Löffelstiele legen, wird der auf dem silbernen befindliche nach kurzer Zeit schmelzen und sich entzünden, während die durch den andern Löffel mitgetheilte Wärme niemals intensiv genug werden wird, um den Phosphor zu entzünden.

249. Es ist das Hauptinteresse des Naturforschers, den Zusammenhang und die Beziehungen der verschiedenen Naturkräfte zu verfolgen. Wir wissen, dass diese Kräfte gegenseitig von einander abhängen; wir wissen ferner, dass sie gegenseitig in einander übergeführt werden können, aber über die eigentliche Art und Weise dieser Verwandlung sind wir bis jetzt noch sehr im Unklaren. Es liegt hinreichender Grund zu dem Schlusse vor, dass sowohl Wärme als Elektricität Arten der Bewegung sind; wir wissen durch Versuche, dass wir durch Elektricität Wärme, und durch Wärme, wie bei der thermoelektrischen Säule, Elektricität erhalten können. Allein, obwohl wir einen ziemlich klaren Begriff von dem Wesen der Wärmebewegung haben, oder wenigstens zu haben glauben, so sind doch unsere Ideen in Bezug auf die eigentliche Natur der Veränderung, welche diese Bewegung erleiden muss, um als Elektricität zum Vorschein zu kommen, noch sehr roher Art: wir wissen nämlich in der That hierüber so gut wie nichts.

250. Die obige Tabelle zeigt uns jedoch einen wichtigen Zusammenhang zwischen Wärme und Elektricität. Die Herren Wiedemann und Franz haben neben die Zahlen, welche das Wärmeleitungsvermögen der Metalle bestimmen, noch die Zahlenangaben für das Leitungsvermögen derselben Metalle für Elektricität gesetzt.

Beide Zahlenreihen zeigen die gleichen Verhältnisse: der gute Wärmeleiter ist auch zugleich guter Leiter für Elektricität, und ein schlechter Wärmeleiter ist auch ein

schlechter elektrischer Leiter *). Daraus können wir schliessen, dass dieselbe physikalische Eigenschaft, welche der Wärmemittheilung widerstrebt, auch in demselben Verhältniss der Mittheilung von Elektricität hinderlich ist. Diese gleiche Bestimmbarkeit beider Kräfte durch die gleichen Einflüsse zeigt eine gegenseitige Verwandtschaft derselben an, welche durch spätere Untersuchungen sicherlich dereinst weiter aufgehellt werden wird.

251. Lassen Sie mich noch einen andern Beweis von der Gemeinschaft zwischen Wärme und Elektricität anführen. Ich habe hier ein Stück Draht, welches aus zwei verschiedenen Metallen angefertigt ist; es besteht aus drei Enden Platinadraht von 4 bis 5 Zoll Länge, verbunden mit drei Stücken Silberdraht von derselben Länge und Stärke. Es ist eine erwiesene Thatsache, dass die Wärmemenge, welche durch einen elektrischen Strom von gewisser Stärke in einem Drahte entwickelt wird, genau proportional dem Widerstande des Drahtes ist **). Im vorliegenden Falle können wir uns vorstellen, dass die Atome sich gleich Schlagbäumen quer über den Pfad des elektrischen Stromes legen, und dass der Strom beim Anprallen an dieselben ihnen seine Bewegung mittheile, und den Draht dadurch erwärme. Bei einem guten Leiter hingegen kann man sich vorstellen, dass der elektrische Strom frei an den Atomen entlang gleite, ohne dieselben wesentlich zu stören. Ich will jetzt einen und denselben Strom aus einer Batterie von zwanzig Grove'schen Zellen durch diesen zusammengesetzten Draht hindurchleiten. Sie sehen drei weissglühende und drei dunkele Stellen.

*) Professor Forbes hatte dies schon früher beobachtet. Siehe Phil. Mag. 1834. Vol. IV. pag. 27.

**) Joule, Phil. Mag. 1841. Vol. XIX, pag. 263.

Die weissglühenden Theile bestehen aus Platina, die dunkeln aus Silber. Der elektrische Strom wirft sich mit Heftigkeit gegen die Molecüle des Platina, während er ohne erheblichen Widerstand zwischen den Silberatomen dahingleitet, und auf diese Weise in den beiden Metallen verschiedene Wärmewirkungen erzeugt *).

252. Ich wünsche Ihnen nunmehr zu zeigen, dass die Wärmebewegung der elektrischen Bewegung hemmend in den Weg tritt. Sie kennen die Platinalampe, welche diesem Tische gegenübersteht. Sie besteht einfach aus einem kleinen Gewinde von Platinadraht, das auf geeignete Weise an einem Messinggestelle befestigt ist. Ich kann einen elektrischen Strom durch dieses Gewinde leiten und es zum Glühen bringen. Allein Sie sehen, dass ich noch ausserdem einen zwei Fuss langen Platinadraht in den Kreis eingefügt habe, und, indem ich die Verbindung herstelle, läuft derselbe Strom durch diesen Draht und durch das Gewinde. Beide werden rothglühend, wie Sie sehen; beide sind demnach gegenwärtig in einem Zustande intensiver Molecularbewegung. Ich wünsche Ihnen nunmehr zu beweisen, dass diese Wärmebewegung, welche von der Elektricität in diesem zwei Fuss langen Drahte erzeugt wurde, und in Folge deren der Draht glüht, eine Hemmung für den Durchgang des Stromes bildet. Die Elektricität hat sich sonach selbst einen Gegner in den Weg gestellt. Ich will diesen Draht abkühlen und auf diese Weise dem Durchgange der Elektricität ein weiteres Thor öffnen. Indem nun eine vermehrte elektrische Strömung eintritt, so wird sie sich durch die Platinalampe

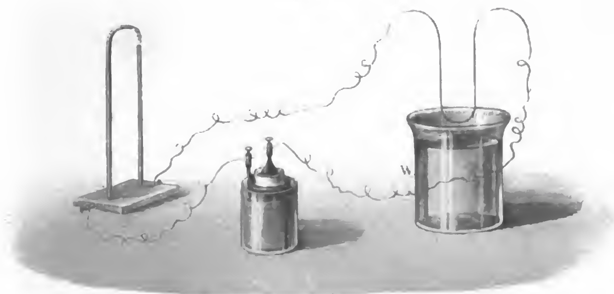
*) Könnte nicht der condensirte Aether, welcher die Atome umgiebt, der Träger des elektrischen Stromes sein?

Der Verfasser.

offenbaren; indem sie das Rothglühen bis zum Weissglühen steigert, und der Wechsel in der Intensität des Lichtes wird jedem Auge sichtbar werden.

253. Ich tauche also meinen rothglühenden Draht in einen Becher voll Wasser *W* (Fig. 65): beobachten Sie die Lampe; sie wird fast zu hell für unser Auge. Ich hebe den Draht aus dem Wasser und gestatte der Wärmebewegung sich von Neuem zu entwickeln; die elektrische Bewegung wird sofort gehemmt und die Lampe verdunkelt sich. Ich tauche wieder den Draht tiefer und tiefer in

Fig. 65.



das Wasser. Sie bemerken, wie intensiv das Licht wird; ich tauche noch tiefer, bis die zwei Fuss Draht ganz unter Wasser sind; der verstärkte Strom steigert die Lampe bis zum Maximum ihres Lichtes, und jetzt erlischt sie plötzlich. Der leitende Kreis ist unterbrochen; denn das glühende Drahtgewinde ist durch die verstärkte elektrische Strömung geschmolzen worden.

254. Lassen Sie uns jetzt einige Minuten auf die Leitung der Kälte verwenden. Dem Anscheine nach kann Kälte ebenso wie Wärme weiter geleitet werden. Hier ist ein kupferner Cylinder, welchen ich dadurch erwärme, dass ich ihn einen Augenblick in der Hand halte. Ich setze ihn auf die thermo-elektrische Säule, und die Nadel bewegt sich bis zu 90° und zeigt Wärme an. Ich setze einen zweiten Cylinder darauf, welchen ich durch Eintauchen in diese Eismasse zuvor abgekühlt habe. Warten wir einen Augenblick; die Nadel bewegt sich, fällt auf 0° und geht bis zu 90° auf der Seite der Kälte. Die Analogie könnte Sie zu der Vermuthung führen, dass die Kälte von dem oberen Cylinder nach dem unteren in der Weise, wie die Wärme bei unseren früheren Versuchen, geleitet wird. Ich habe auch gegen den Ausdruck „Leitung von Kälte“ nichts einzuwenden, vorausgesetzt dass er mit einer klaren Kenntniss des wirklichen physikalischen Vorganges gebraucht werde. Dieser wirkliche Vorgang besteht aber darin, dass der untere, warme Cylinder seine Wärme oder Bewegung zuerst an den darüber befindlichen kalten Cylinder abgiebt, und dass er, nachdem seine eigene Wärme erschöpft ist, die der Säule innewohnende in Anspruch nimmt. Bei unseren früheren Versuchen hatten wir eine Leitung der Bewegung *nach* der Säule hin; jetzt haben wir im Gegentheil eine Leitung der Bewegung *von* der Säule *weg*. Allein in beiden Fällen haben wir es mit der Ausbreitung einer Bewegung zu thun, während die Erwärmung oder Abkühlung einzig von der *Richtung* abhängt, in welcher diese Ausbreitung erfolgt. Ich setze einen dieser absichtlich abgekühlten Metallcylinder auf die Säule, und eine heftige Ablenkung erfolgt in der Richtung der Kälte. Sollen wir nun annehmen, die Kälte sei etwas Positives, was der Säule mitgetheilt wurde?

Nein. Sondern die Säule ist in diesem Falle der warme Körper; ihre Molecularbewegung übersteigt die, welche der Cylinder besitzt, und wenn beide in Berührung kommen, so sucht die Säule dem Mangel abzuhelfen. Sie überträgt einen Theil ihrer Bewegung auf den Cylinder und verarmt durch ihre eigene Freigebigkeit: sie kühlt sich ab und die Magnetnadel zeigt ihre Abkühlung an.

255. Ich entferne den kalten Metallcylinder und setze einen hölzernen Cylinder auf die Säule, welcher dieselbe Temperatur besitzt, als der erstere. Die vom Holze ausgehende Abkühlung ist sehr schwach, und die daherrührende Ablenkung sehr unbedeutend. Warum übt das kalte Holz nicht dieselbe Wirkung aus, als das kalte Metall? Einfach weil die Wärme, welche die Säule dem ersteren mittheilte, an seiner unteren Oberfläche angehäuft ist, und durch das schlechtleitende Holz nicht wie durch das Metall entweichen kann, und in Folge dessen entzieht das Holz der Säule eine geringere Wärmemenge, als das Kupfer. Eine ähnliche Wirkung wird erreicht, im Falle man die menschlichen Nerven anstatt der Säule benutzt. Wenn Sie ein kaltes Zimmer betreten und Ihre Hand der Reihe nach auf die Feuerzange, den Kamin, die Stühle und den Teppich legen, so werden diese Gegenstände scheinbar verschiedene Temperaturen haben: Das Eisen wird Ihnen kälter als der Marmor, der Marmor kälter als das Holz erscheinen, und so fort. Ihre Hand erleidet genau dieselben Einflüsse, wie die Säule bei unserem letzten Versuche. Es ist wohl unnöthig, hinzuzufügen, dass das Gegentheil stattfindet, wenn man ein warmes Zimmer betritt; das heisst ein Zimmer, welches wärmer als unser Körper ist. Ich würde unstreitig Schmerz empfinden, wenn ich mich in einem russischen Bade auf eine Metallplatte niederlegen wollte; während

ich keinerlei Schmerz empfinde, wenn ich mich auf eine hölzerne Bank niederlege. Man kann sehr hohe Temperaturen ertragen, wenn man den Körper vor der Berührung mit guten Leitern schützt. So zum Beispiel ist es dem Menschen möglich, seinen Körper unbeschadet der Wärme eines Raumes auszusetzen, in welchem man Eier sieden und Beefsteaks braten kann.

256. Die Theorie dieses letzteren Versuches verdient einige Minuten Aufmerksamkeit. Die Namen Blagden und Chantrey sind damit verknüpft; indem diese verdienstvollen Männer sich innerhalb eines Backofens einer Temperaturhöhe aussetzten, welche den Siedepunkt des Wassers bedeutend überstieg. Lassen Sie uns nun den Zustand der beiden lebenden Wesen mit dem zweier Marmorstatuen, welche man in denselben Backofen gebracht hätte, vergleichen. Die Statuen würden allmälig wärmer werden, bis sie schliesslich die Temperatur des Backofens angenommen haben würden, während die lebenden Menschen unter denselben Verhältnissen ihre Temperatur nicht auf solche Weise zu steigern brauchten. Wäre eine solche Steigerung bei letzteren eingetreten, so hätten die Gewebe ihres Körpers dabei nothwendig zerstört werden müssen; denn die Temperatur, welcher sie sich aussetzten, wäre mehr als hinreichend gewesen, um ihre Muskeln in deren eigenem Safte zu dämpfen. Die Blutwärme wird jedoch durch eine Erhöhung der äusseren Temperatur kaum verändert. Diese Wärme des Körpers wird, anstatt die letztere zu steigern, dazu verwendet, den Aggregatzustand seiner Bestandtheile zu ändern; sie treibt das Wasser der Haut reichlich durch die Poren und verwandelt es in Dunst. Die Wärme wird dabei in Spannkraft verwandelt, und wird als Arbeit verbraucht. Es ist dieses die Abzugsröhre, wenn

ich mich so ausdrücken darf, wodurch der Ueberfluss an Wärme entfernt wird, und daher kommt es, dass die Temperatur des menschlichen Blutes auch unter den verschiedensten klimatischen Bedingungen dennoch dieselbe bleibt. Das Blut des Lappländers ist nicht merklich kälter als das Blut des Hindu; und ein Engländer, der vom Nordpole nach dem Südpole fährt, wird seine Bluttemperatur am Aequator kaum gesteigert und in der Nähe des Südpoles kaum vermindert finden.

257. Findet die Wärmemittheilung allmälig statt, wie das immer der Fall ist, wenn der Körper von einem schlechten Leiter umgeben ist, so wird die Wärme in der eben angegebenen Weise so schnell, als sie zugeleitet wird, verbraucht; allein wenn die Wärmemittheilung, wie bei der Berührung mit einem guten Leiter, so schnell geschieht, dass eine Verwandlung in diese unschädliche Arbeitsform nicht mit der nöthigen Geschwindigkeit vor sich gehen kann, so werden die Gewebe des Körpers beschädigt werden. Man hat es besonders betont, dass in dieser Widerstandsfähigkeit des lebendigen Körpers gegen hohe Temperaturen eine dem Leben eigenthümliche Schutzkraft zu sehen sei. Zweifelsohne stehen alle Vorgänge des thierischen Körpers mit seiner eigenthümlichen Lebensthätigkeit im Zusammenhange; allein der hier geschilderte Vorgang ist seiner Natur nach kein anderer, als der auch beim Schmelzen des Eises und bei der Verdunstung des Wassers stattfindende. Derselbe besteht einfach darin, dass Wärme nicht weiter zur Erhöhung der Temperatur, sondern zur Verrichtung von Arbeit verwendet wird.

258. Bisher haben wir das Leitungsvermögen verschiedener Körper gegenseitig verglichen, allein ein und

derselbe Körper kann auch nach verschiedenen Richtungen hin ein verschiedenes Leitungsvermögen besitzen. Manche Krystalle sind so gebaut, dass die Wärmebewegung mit grösserer Leichtigkeit an gewissen Atomreihen entlang läuft als an anderen. Hier ist zum Beispiel ein grosser, eine sechseckige Säule bildender Quarzkrystall, welcher, wenn er vollständig wäre, noch durch zwei sechsflächige Pyramiden geendigt sein würde (Fig. 66 bis 68). Die Wärme wandert mit grösserer Leichtigkeit in Richtung der Axe dieses Krystalles, als rechtwinklig gegen dieselbe. Mr. de Sénarmont hat diese Thatsache auf sehr einfache Art bewiesen. Hier habe ich zwei Quarzplatten, wovon die eine (Fig. 67) senkrecht gegen die Axe, die andere (Fig. 68) parallel mit der Axe geschnitten ist. Ich bekleide die Platten mit einer Schicht von

Fig. 66.

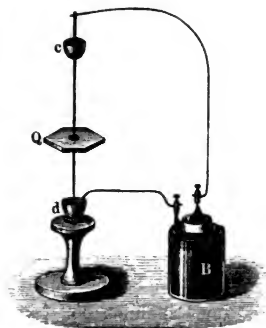


Fig. 67.

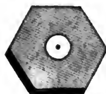
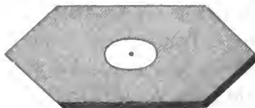


Fig. 68.



weissem Wachs, welche ich mittelst eines Pinsels aus Kameelhaaren aufgetragen habe. Die Platten sind in der Mitte durchbohrt und durch diese Oeffnung stecke

ich eine feine Nähnadel, welche ich durch einen elektrischen Strom erwärme. *B* (Fig. 66) ist die Batterie, von welcher der Strom ausgeht; *c* ist eine hölzerne Kapsel, durch deren Boden die Nähnadel läuft; *d* ist eine zweite Kapsel, in welche die Nadelspitze eintaucht, und *Q* ist die durchbohrte Quarzplatte. Jede Kapsel enthält einen Tropfen Quecksilber. Wenn der Strom von *c* nach *d* läuft, so wird die Nadel erwärmt und die Wärme verbreitet sich nach allen Richtungen. Das Wachs schmilzt ringsum die Stelle, von welcher die Wärme ausgeht, und auf dieser Platte, welche senkrecht gegen die Axe geschnitten ist, bildet das geschmolzene Wachs einen vollkommenen Kreis (Fig. 67). Die Wärme hat sich ringsum mit derselben Schnelligkeit verbreitet, und hat das Wachs auf dieselbe Entfernung nach allen Richtungen geschmolzen. Ich stelle denselben Versuch mit dem anderen Plättchen an: Das Wachs beginnt zu schmelzen, allein ich sehe, dass es keinen Kreis mehr bildet. Die Wärme verbreitet sich rascher entlang der Axe, als quer dagegen, und deshalb bildet das geschmolzene Wachs eine Ellipse anstatt eines Kreises (Fig. 68). Ist das Wachs festgeworden, so werde ich das vergrösserte Bild der beiden Platten auf den Schirm werfen, damit Sie den Kreis von geschmolzenem Wachs auf der einen, und die Ellipse auf der anderen wahrnehmen können. Isländischer Spath leitet besser der krystallographischen Axe entlang, als quer gegen dieselbe, während ein Turmalinkrystall am besten rechtwinklig gegen die Axe leitet. Wismuth, dieses Ihnen bereits bekannte Metall, spaltet sich mit Leichtigkeit in einer gewissen Richtung, und die Herren Swanberg und Matteucci haben gezeigt, dass sowohl Wärme als Elektricität besser diesen Spaltflächen entlang als quer gegen dieselben geleitet werden.

259. Am Holze haben wir ein schlagendes Beispiel dieser Verschiedenheit des Leitungsvermögens. Vor mehr als 20 Jahren haben de la Rive und de Candolle eine Untersuchung über die Leitungsfähigkeit des Holzes angestellt*), und bei fünf Holzarten, welche untersucht wurden, die Thatsache festgestellt, dass die Geschwindigkeit der Mittheilung rascher längs der Fasern des Holzes als quer dagegen erfolgt. Es wurden hierbei die für solche Untersuchungen gebräuchlichen Methoden angewendet, welche schon Despretz**) für Metalle gebraucht hatte. Man nahm einen Stab von der fraglichen Substanz, brachte dessen eines Ende mit einer Wärmequelle so lange in Berührung, bis ein Gleichgewichtszustand eingetreten war. Die längs der Stange in verschiedenen Entfernungen von dem erwärmten Ende eingetretenen Temperaturen wurden durch Thermometer, welche in Vertiefungen des Holzes eingepasst waren, gemessen und mit Hülfe einer bekannten Formel konnte das Leitungsvermögen des Holzes nach diesen Daten bestimmt werden.

260. Um die Geschwindigkeit der Wärmemittheilung nach verschiedenen Richtungen im Holze zu bestimmen, habe ich das, in Fig. 69, abgebildete Instrument vor mehreren Jahren ersonnen. $QQ'\ RR'$ ist ein längliches Stück Mahagonyholz; A ist ein Antimonstäbchen, B ein Wismuthstäbchen. Die vereinigten Enden der beiden Stäbe werden in fester Berührung durch die Elfenbeinzwinge II' gehalten. Die zwei anderen Enden sind in ein zweites Stück Elfenbein fest eingelassen. Von diesen Enden laufen zwei Stücke Platinadraht zu den kleinen Elfenbeinnäpfchen MM und stehen hier in leitender

*) Mém. de la Soc. de Génève vol. IV, pag. 70.

**) Annales de Chimie et de Physique. Decembre 1827.

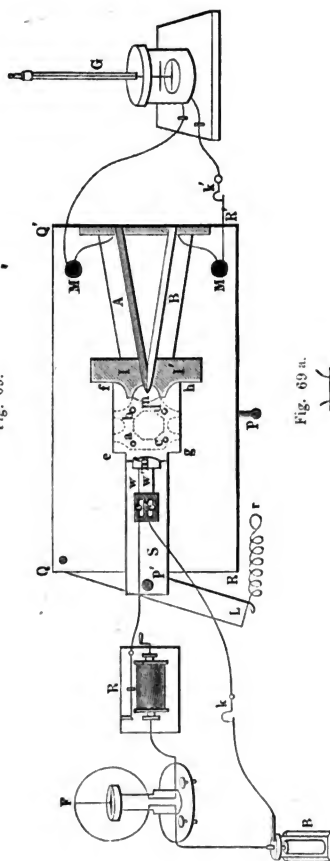


Fig. 69.


Fig. 69 a.

Berührung mit einem darin befindlichen Tropfen Quecksilber. Man bemerkt in der Figur zwei kleine Vorsprünge, die von II' auslaufen; von einem Vorsprunge zum andern ist eine feine Membran gespannt, so dass auf diese Weise eine kleine Kammer m abgeschlossen wird, in welche das keilförmige Ende der Berührungsstelle von Wismuth und Antimon hineinragt. Diese Kammer hat einen elfenbeinernen Boden. S ist ein hölzerner Schieber, welcher längs einer schräg eingeschnittenen Rinne mittelst des Hebels L sanft vor- und rückwärts bewegt werden kann. Dieser Hebel dreht sich um eine Axe bei Q, und greift in einen horizontalen Spalt des Schiebers ein, in welchen er durch den Stift p' befestigt ist. In dem Hebel ist eine längliche Oeffnung eingeschnitten, durch welche p' läuft, und wodurch er etwas Spielraum nach der Seite hin hat, und dadurch im Stande ist, den Schieber in gerader Linie vorwärts zu treiben. An dem Schieber sind zwei Vorsprünge sichtbar, und eine feine Membran ist von Vorsprung zu Vorsprung gespannt; auf diese Weise entsteht eine Kammer m' mit drei hölzernen Wänden und hölzernem Boden, während ihre Vorderseite von der Membran begrenzt wird. Ein dünner Platinadraht, welcher mehrmals hin- und hergebogen ist, so dass er eine Art von Gitter bildet, ist hinten in die Kammer m' eingelegt, und in das Ende des Schiebers mittelst eines Hammerschlages befestigt; das Ende wird dann gefeilt, bis der Draht nur noch ungefähr die halbe Dicke besitzt, und das Ganze eine gleichmässig glatte Oberfläche darbietet. Ein sehr dünnes Glimmerplättchen ist an der gemeinschaftlichen Oberfläche des Schiebers und des Drahtes angebracht, welches einfach dazu dienen soll, um die leitende Berührung zwischen dem gebogenen Drahte und einem Tropfen Quecksilber, welchen die Kammer m' aufzuneh-

men bestimmt ist, zu verhindern. Die Drahtenden *ww'* führen zu zwei kleinen Vertiefungen *cc'* in einer Elfenbeinplatte, welche mit Quecksilber angefüllt sind. Das Ende des Schiebers mit dem gebogenen Drahte ist in Fig. 69 a dargestellt. Der rechtwinklige Raum *efgh* (Fig. 69) ist aus dem Mahagonyboden herausgeschnitten, und eine Messingplatte ist an dem letzteren von unten angeschraubt. Auf dieser Platte (welche so ausgeschnitten ist wie es die punktirten Linien der Abbildung zeigen) erheben sich vier kegelförmige Elfenbeinsäulen *abcd* nach oben, und obwohl sie auf derselben Ebene mit den Antimon- und Wismuthstäben zu stehen scheinen, sind doch die Spitzen dieser Säulen in Wirklichkeit 0,3 Zoll tiefer als die besagte Ebene.

261. Die Substanz, welche untersucht werden soll, wird in die Gestalt eines Würfels geschnitten, und dann mit Hülfe einer Drahtzange auf die vier Stützen *abcd* gestellt; der Schieber *S* wird dann gegen den Würfel hingeschoben, und der letztere auf diese Weise zwischen die Vorsprünge der Elfenbeinstücke *JJ'* einerseits und die des Schiebers *S* andererseits fest eingeklemmt. Da die Kammern *m* und *m'* mit Quecksilber gefüllt sind, so werden die sie abschliessenden Membranen von der flüssigen Masse sanft gegen den Würfel angedrückt, und es wird in dieser Weise eine gleichmässige Berührung, die durchaus wesentlich ist, sicher hergestellt. Die zu lösende Aufgabe ist die folgende: Es wird erfordert, dass eine Wärmequelle von genau messbarer Grösse, die jeden Augenblick leicht hergestellt werden kann, an derjenigen Seite des Würfels angebracht werde, welche in Berührung mit der Membran *m'* am Ende des Schiebers ist, und dass die Wärmemenge gemessen werde, welche in Zeit einer Minute durch den Cubus auf die andere Seite dringt.

262. Um eine Wärmequelle von der verlangten Art zu erhalten wurde folgendes Verfahren eingeschlagen: *B* ist eine kleine galvanische Batterie, deren Strom zunächst zu der Tangentenbussole *F* geht. Dieser Strom durchläuft den Ring dieses Instrumentes und lenkt dabei die Magnetnadel ab, die in der Mitte des Ringes hängt. Von *F* geht der Strom zu dem Rheostaten *R*. Dieses Instrument besteht aus einem Cylinder von Serpentin, um den ein Neusilberdraht schraubenförmig aufgewunden ist. Wenn man die Kurbel des Instrumentes dreht, wird eine beliebige Quantität von dem starken Widerstande, den dieser Draht giebt, in den galvanischen Kreis eingeschaltet, wodurch die Stärke des Stromes nach Belieben regulirt werden kann. Der einzige Zweck der beiden letztgenannten Instrumente bei den vorliegenden Versuchen besteht darin, den Strom von einem Tage zum anderen vollständig constant zu erhalten. Von dem Rheostaten geht der Strom zu dem Quecksilbernäpfchen *C*, von da durch den gebogenen Draht zurück zum Näpfchen *C'*, von wo er nach dem andern Pole der Batterie gelangt.

263. Der gebogene Draht wird durch den elektrischen Strom, der ihn durchfliesst, mässig erwärmt. Die Wärme wird durch das Quecksilber in der Kammer *m'* der Membran an der Vorderseite dieser Kammer zugeleitet; auf diese Weise wird diese Membran nun die unmittelbare Wärmequelle für die linke Seite des Würfels. Die Wärmequantität, welche von dieser Quelle aus in gegebener Zeit durch die Masse des Würfels hin nach der anderen Seite geleitet wird, messen wir durch die Ablenkung der Galvanometernadel, welche sie hervorbringt. *G* ist das für diesen Zweck gebrauchte, mit dem Wismuth und Antimon verbundene Galvanometer. Von ihm gehen Drähte

zu den Quecksilbernäpfchen *MM*, die, wie früher bemerkt, durch Platinadrähte mit *A* und *B* verbunden sind.

264. Die auflösende Wirkung von Quecksilber auf Wismuth ist wohlbekannt; wenn die beiden Metalle in Berührung kommen, bildet sich schnell ein Amalgam. Um die thermo-elektrischen Elemente vor dieser Wirkung zu schützen, sind ihre Enden mit einem Ueberzug von derselben Membran versehen, welche eine Wand der Kammern ***mm'*** bildet.

265. Ehe man den Würfel zwischen die beiden Membranen bringt, werden diese von der hinter ihnen liegenden flüssigen Masse ein wenig hervorgewölbt und bilden so ein paar weiche und wenig convexe Kissen. Wenn der Würfel auf seine Stützen gebracht und der Schieber gegengeschoben ist, werden beide Kissen flach gedrückt, und so kommt eine sehr vollkommene Berührung zu Stande. Die Seitenfläche des Würfels ist grösser als die Oberfläche der Membran *), und daher wird der erstere stets sicher zwischen den einander gegenüberstehenden festen Vorsprüngen gefasst, wobei der Schieber in seiner Stellung durch die Feder *r* gehalten wird, die man zu dem Ende an den Stift *p* fest macht. Das Verfahren beim Versuche ist nun wie folgt: Nachdem man zunächst nachgesehen hat, ob die Galvanometernadel auf Null zeigt, wenn der thermo-elektrische Kreis geschlossen ist, wird dieser durch den Schlüssel *k'* unterbrochen. In einem gewissen Augenblicke, der durch den Secundenzeiger einer Uhr angegeben wird, wird der Volta'sche Kreis durch den Schlüssel *k* geschlossen und man lässt den Strom 60 Secunden lang hindurchgehen; mit der 60sten Secunde

---

*) Die Seite jedes Würfels maass 0,3 Zoll.

wird der Volta'sche Kreis mit der linken Hand bei k unterbrochen, während in demselben Augenblick bei k' geschlossen wird. Die Galvanometernadel wird augenblicklich abgelenkt und die Grösse des ersten Ausschlages notirt. Die Grösse hängt natürlich von der Wärmemenge ab, welche zur Vereinigungsstelle des Wismuth und Antimon während der Zeit des Versuchs durch die Masse des Würfels gelangt ist. Nachdem der Ausschlag abgelesen ist, nimmt man den Würfel weg und lässt das Instrument abkühlen, bis die Galvanometernadel wieder auf Null zeigt.

266. Nach dieser Beschreibung könnte unser Versuch sehr verwickelt erscheinen, dies ist jedoch keineswegs der Fall, sondern ein einzelner Beobachter kann den ganzen Apparat vollkommen beherrschen. Die Drähte der kleinen galvanischen Batterie bleiben von Tag zu Tag ungestört, und so wie der Zusammenhang zwischen ihnen und der Batterie hergestellt wird, ist der Apparat zum Experimentiren bereit.

267. Es giebt drei Richtungen im Holze, welche im rechten Winkel zu einander stehen, von denen wir sogleich nach dem blossen Anblick der Substanz feststellen können, dass sie nothwendig den Hauptverschiedenheiten der Moleculervorgänge entsprechen müssen. Die erste Linie ist parallel zu den Fasern; die zweite senkrecht zu diesen und zu den Holzschichten, welche das jährliche Wachsthum des Baumes anzeigen, während die dritte senkrecht zur Faser und parallel oder vielmehr tangential zu den Holzschichten gerichtet ist. Ich liess aus einer Reihe von Stämmen je einen Würfel in der Weise ausschneiden, dass zwei seiner Flächen den Holzschichten parallel und zwei senkrecht dagegen waren; während die beiden übrigen Flächen senkrecht zu den Fasern liefen. Die Geschwindigkeit der

Wärmemittheilung durch das Holz, sollte nach diesen drei Richtungen hin, untersucht werden. Es kann hinzugefügt werden, dass die Würfel gute Muster von der Durchschnittsbeschaffenheit des betreffenden Holzes waren, und dass das Holz in allen Fällen trocken und gut ausgewachsen war.

268. Der Würfel wurde zuerst auf seine vier Stützen, ***abcd***, gesetzt, so dass die Strömungslinie von m' zu m, den Fasern parallel, lief, und die von der Wärme herrührende Ablenkung innerhalb 60 Secunden beobachtet wurde. Die Stellung des Würfels wurde demnächst so verändert, dass die Fasern senkrecht standen, und dass die Strömung von m' zu m senkrecht zu den Fasern und parallel zu den Holzschichten war; die Ablenkung, welche nach einer Minute erfolgte, wurde ebenfalls abgelesen. Schliesslich wurde der Würfel um 90° gedreht, so dass die Fasern noch immer senkrecht blieben, und die Strömung senkrecht sowohl zu den Fasern als zu den Holzschichten lief; und die entsprechende Ablenkung wurde beobachtet. Bei dem Vergleich der beiden letzteren Richtungen ist besondere Sorgfalt in der Handhabung des Apparates nöthig. Ein roher Versuch genügt, um die grössere Geschwindigkeit, welche den Fasern entlang stattfindet, anschaulich zu machen; allein die Geschwindigkeiten in den Richtungen, welche senkrecht zu den Fasern stehen, sind so unmerklich verschieden, dass es nur mittels grosser Sorgfalt und in den meisten Fällen erst nach zahlreichen Versuchen gelingt, die Verschiedenheit der Wirkung sicher festzustellen.

269. Die folgende Tabelle enthält einige Resultate dieser Untersuchungen, und wird sich selbst erläutern:

Holzarten.	Ablenkungen.		
	I. Parallel der Faser.	II. Rechtwinklig zur Faser, parallel den Jahresringen.	III. Rechtwinklig zur Faser und zu den Jahresringen.
	0	0	0
1. Amerikanische Birke . .	35	9,0	11,0
2. Eiche	34	9,5	11,0
3. Buche	33	8,3	10,8
4. Coromandelholz	33	9,8	12,3
5. Ahorn	31	11,0	12,0
6. Lanzenholz	31	10,6	12,1
7. Buchsbaumholz	31	9,9	12,0
8. Thekabaum	31	9,9	12,4
9. Rosenholz	31	10,4	12,6
10. Chinaholz (Peruvian.) .	30	10,7	11,7
11. Westind. Grünholz . .	29	11,4	12,6
12. Nussbaum	28	11,0	13,0
13. Hängeesche	28	11,0	12,0
14. Cacaoholz	28	11,9	13,6
15. Sandelholz	28	10,0	11,7
16. Tulpenbaum	28	11,0	12,1
17. Campherbaum	28	8,6	10,0
18. Olivenbaum	28	10,5	13,2
19. Esche	27	9,5	11,5
20. Färbereiche	27	8,0	9,4
21. Apfelbaum	26	10,0	12,5
22. Eisenholz	26	10,2	12,4
23. Kastanienbaum	26	10,1	11,5
24. Sicamore	26	10,6	12,2
25. Honduras Mahagony . .	25	9,0	10,0
26. Brasilienholz	25	11,9	13,9
27. Eibenbaum	24	11,0	12,0
28. Ulme	24	10,0	11,5
29. Platane	24	10,0	12,0
30. Portugiesischer Lorbeer .	24	10,0	11,5
31. Spanisches Mahagony .	23	11,5	12,5
32. Schottische Fichte . . .	22	10,0	12,0

270. Die vorstehende Tabelle bestätigt uns die Resultate, welche de la Rive und de Candolle in Bezug auf das höhere Leitungsvermögen des Holzes in Richtung

der Faser, erzielten. Sie liefert ausserdem den Beweis von dem geringen Einfluss, den die blosse Dichtigkeit auf die Geschwindigkeit der Leitung ausübt. Es scheint hierin keine allgemeine, oder auch nur annähernd allgemeine Regel zu bestehen. Die amerikanische Birke, ein verhältnissmässig leichtes Holz, besitzt unzweifelhaft eine grössere Leitungsfähigkeit als irgend ein anderes Holz auf der Liste; wohingegen Eisenholz mit einer specifischen Schwere von 1,426 ziemlich tief steht. Wiederum stehen Eichen- und Coromandelholz (das letztere ist so hart, dass es zu scharfen Kriegswaffen von den Wilden benutzt wird) beinahe an der Spitze der Tabelle, während die schottische Fichte und andere leichtere Hölzer an deren Ende stehen.

271. Wenn wir unsere Blicke auf die zweite und dritte Zahlenreihe der Tabelle werfen, werden wir finden, dass in allen Fällen die Geschwindigkeit der Fortleitung in derjenigen Richtung am grössten ist, welche senkrecht zu den holzigen Schichten steht. Das Gesetz der Molekularwirkung in Bezug auf Wärmeleitung im Holze kann daher auf folgende Weise ausgedrückt werden:

An allen nicht im Centrum des Baumes gelegenen Punkten besitzt das Holz drei ungleiche Axen für die Wärmeleitung, welche im rechten Winkel zu einander stehen. Die erste und hauptsächlichste Axe ist parallel den Fasern des Holzes; die zweite mittlere Axe ist senkrecht zu den Fasern und zu den Holzschichten, während die dritte und kleinste Axe senkrecht zu den Fasern und parallel mit den Schichten ist.

272. De la Rive und de Candolle haben hieran die Bemerkung geknüpft, dass die schwache Wärmeleitung des Holzes quer zu den Fasern vortheilhaft ist zur Bewahrung derjenigen Wärme, welche die Bäume

vom Boden empfangen. Dank dieser Eigenthümlichkeit vermag ein Baum einem plötzlichen Wechsel der Temperatur zu widerstehen, welcher ihm ohne dieselbe wahrscheinlich zum Schaden gereichen würde; er widersteht sowohl der plötzlichen Entziehung seiner inneren Wärme, als der plötzlichen Zufuhr äusserer Wärme. Allein die Natur hat noch mehr gethan, indem sie den Baum mit einer Rinde aus einem Materiale umgab, welches noch schlechter als das Holz in seiner ungünstigsten Richtung leitet. Im Folgenden sehen Sie die Ablenkungen, welche einige Würfel aus Baumrinde von derselben Grösse wie die Holzwürfel und unter denselben Verhältnissen ergaben:

	Ablenkung.	Entsprechende Ablenkung beim Holze.
Buchenrinde	7°	10,8°
Eichenrinde	7	11,0
Ulmenrinde	7	11,5
Fichtenrinde	7	12,0

Die Wärme wurde in diesen Fällen von der inneren Fläche der Rinde nach aussen geleitet.

273. Die durchschnittliche Ablenkung, welche von einem hölzernen Cubus bei quergerichteter Strömung hervorgebracht wird, beträgt

12°;

ein Würfel aus Bergkrystall (reine Kieselerde) von derselben Grösse verursacht eine Ablenkung von

90°.

274. Zwei so verschiedene Körper müssen einen sehr wesentlichen Einfluss auf das Klima ausüben, an solchen Stellen, wo sie einen irgend beträchtlichen Theil der Erdoberfläche bedecken. Es ist durch Versuche äusserst

wahrscheinlich gemacht worden, dass Bergkrystall sogar ein grösseres Leitungsvermögen besitzt, als gewisse Metalle.

275. Die folgenden Zahlen zeigen das Leitungsvermögen von einigen anderen organischen Geweben, welche in Gestalt von Würfeln in der bereits bekannten Weise untersucht wurden:

Wallrosszahn	16
Hauer von ostindischen Elephanten . . .	17
Fischbein	9
Rhinoceroshorn	9
Rinderhorn	9

276. Die zu der Construction organischer Gewebe angewendeten Substanzen sind gerade solche, die plötzlichem Temperaturwechsel gut widerstehen.

277. Die folgenden Ergebnisse erläutern diesen Punkt noch näher. Eine jede der folgenden Substanzen wurde in Würfelform gebracht und einer Untersuchung unterzogen, welche der mit dem Holz und dem Kiesel vorgenommenen in jeder Beziehung ähnlich war.

Ablenkung hervorgebracht durch:

Siegellack	0^0
Sohlenleder	0
Bienenwachs	0
Leim	0
Guttapercha	0
Kautschuk	0
Lambertusnusskern	0
Mandelkern	0
Gekochte Hammelsmuskeln	0
Rohe Kalbsmuskeln	0

278. Die hier genannten Substanzen sind animalische und vegetabilische Producte, und unsere Versuche beweisen die ungemeine Undurchdringlichkeit jeder einzelnen

unter denselben. Wenn wir von der Erfahrung ausgehen, dass plötzliche Zuleitung oder Entziehung von Wärme der Gesundheit von Pflanzen und Thieren schädlich ist, so sehen wir, dass das zu ihrer Construction gewählte Material vortrefflich darauf berechnet ist, um diese Veränderungen unwirksam zu machen.

279. Ich möchte Ihre Aufmerksamkeit nun auf einen Versuch leiten, welcher Ihnen vielleicht auf den ersten Blick widersinnig erscheinen könnte. Hier ist ein kurzes Prisma aus Wismuth und hier ein zweites von gleicher Grösse aus Eisen. Ich bekleide die Enden beider Prismen mit weissem Wachse und lege sie alsdann, mit der so bekleideten Seite nach oben gekehrt, auf den Deckel dieses Gefässes voll heissen Wassers. Die Wärmebewegung wird sich in den Prismen verbreiten, und ich bitte Sie, das Schmelzen des Wachses zu beobachten. Dasselbe beginnt bereits sich zu erweichen, aber wo zuerst? Auf dem Prisma von Wismuth. Jetzt ist das Weiss auf dem letzteren gänzlich verschwunden, und das Wachs überzieht das Metall mit einer durchsichtigen flüssigen Schicht, während das auf dem Eisen befindliche Wachs noch nicht geschmolzen ist. Wie ist dieses Ergebniss mit der in unserer Tabelle des Leitungsvermögens angegebenen Thatsache zusammenzureimen, dass nämlich das Wärmeleitungsvermögen des Eisens zu dem des Wismuths im Verhältniss wie 12 zu 2 steht. In diesem Versuche erscheint das Wismuth als der bessere Leiter. Wir lösen dieses Räthsel, indem wir unsere Tabelle der specifischen Wärmen zu Rathe ziehen; hier finden wir, dass während die specifische Wärme des Eisens 0,1138 ist, die des Wismuths nur 0,0308 beträgt; man braucht also mehr als die dreifache absolute Wärmequantität, um Eisen auf eine gewisse Zahl von Temperaturgraden zu erwärmen, als für

Wismuth. Obwohl Eisen ein weit besserer Leiter ist, als Wismuth, und auch in diesem Moment während jeder Zeiteinheit eine viel grössere Wärmemenge aufnimmt, so ist dennoch die Temperaturzunahme beim Eisen, wegen der grösseren Zahl seiner Atome oder der bedeutenderen inneren Arbeit, nur langsam. Wismuth kann hingegen sofort einen grossen Theil der ihm mitgetheilten Wärme auf die Steigerung der Temperatur verwenden; auf diese Weise ist also das Wismuth dem Eisen scheinbar überlegen in der Mittheilung jener Bewegung, von welcher die Temperatur herrührt.

280. Man sieht hieraus sehr deutlich, wie irrig sich manche Angaben sowohl in Büchern als in den Antworten unserer Examenscandidaten in Bezug auf das bereits besprochene Ingenhouss'sche Experiment erweisen. Gewöhnlich nimmt man an, je schneller das Wachs schmelze desto besser sei der Leiter. Dies ist auch der Fall, wenn der gute und der schlechte Leiter dieselbe specifische Wärme haben; allein in anderen Fällen kann diese Annahme auch ganz unrichtig sein, wie wir dies in unserem letzten Versuche bewiesen haben. Die richtige Untersuchungsmethode besteht, wie ich bereits bemerkte, darin, dass man so lange wartet, bis sowohl das Eisen als das Wismuth eine constante Temperatur erreicht haben; d. h. bis jedes der beiden Metalle so viel Bewegung von der Wärmequelle aufgenommen hat und weiter leitet, als es überhaupt aufzunehmen und mitzutheilen im Stande ist; wenn dies geschehen ist, so wird man finden, dass Eisen eine sechsmal grössere Wärmemenge fortzuleiten vermag als Wismuth. Sie werden sich des Versuches mit dem Trevelyan-Instrumente erinnern, wo Sie sich von der Nothwendigkeit, einen stark dehnbaren Körper als Träger für den Wipper zu wählen, überzeugt haben. Blei ist wegen seiner grossen Dehnbarkeit hierzu am tauglichsten.

Obwohl nun der Ausdehnungscoëfficient des Zinkes etwas höher als der des Bleies steht, so ist Zink dennoch zu diesem Zwecke nicht so brauchbar als Blei. Die Ursache hiervon ist, dass die specifische Wärme des Zinkes mehr als das Dreifache von der des Bleies beträgt, so dass die Wärme, welche dem Zinke durch die Berührung des Wippers mitgetheilt wird, nur den dritten Theil der Temperaturerhöhung und eine entsprechend geringere locale Ausdehnung, als im Blei hervorbringen kann.

281. Diese Betrachtungen zeigen ausserdem, dass die in unseren Versuchen mit dem Holze im Zeitraum von einer Minute übertragene Wärmemenge, genau genommen, nicht als Ausdruck für das Leitungsvermögen des Holzes angesehen werden kann; es sei denn, dass die specifische Wärme der verschiedenen Hölzer dieselbe sei. In dieser letzteren Beziehung sind jedoch noch keine Versuche gemacht worden. Allein unsere Versuche behalten dessen ungeachtet ihre Richtigkeit, so weit sie den Einfluss der Molecularconstruction betreffen; denn hier vergleichen wir nur die verschiedenen Richtungen untereinander innerhalb desselben Würfels. Was die organischen Gewebe betrifft, so kann ich hinzufügen, dass ihr Leitungsvermögen unendlich gering ist, auch wenn man ihnen Zeit lässt so viel Bewegung, als sie aufzunehmen im Stande sind, von einer Wärmequelle zu entnehmen. Sie sind in der That sehr schlechte Leiter.

282. Dieses unvollkommenen Leitungsvermögens wegen eignen sich z. B. wollene Gewebe so sehr zur Bekleidung. Sie bewahren den Körper vor plötzlicher Wärmeeinwirkung oder plötzlicher Wärmeentziehung. Wenn wir ein Stück Eis in Flanell wickeln, kommt dieselbe Eigenschaft des Nichtleitungsvermögens zu Tage. Eis, welches auf diese Weise aufbewahrt wird, schmilzt nicht leicht. Die

wollene Kleidung verhindert an kalten Tagen die Mittheilung der Wärmebewegung vom menschlichen Körper an die Aussenwelt; während Eis an warmen Tagen durch denselben Stoff vor der Aufnahme der äusseren Wärme geschützt wird. Die Thiere, welche bestimmt sind, kalte Himmelsstriche zu bewohnen, haben schon von der Natur die hierzu nöthige Kleidung erhalten. Da die Vögel wärmeres Blut haben als die Säugethiere, so bedürfen sie dieses Schutzes am meisten. Sie sind deshalb mit Federn ausgestattet, deren Zwischenräume wieder mit Flaum ausgefüllt sind, und Flaum ist, seiner Molecularbeschaffenheit und seines mechanischen Gefüges halber, vielleicht der schlechteste, überhaupt existirende Wärmeleiter. Wir haben hier demnach ein neues Beispiel von der harmonischen Beziehung des Lebens zu den Lebensbedingungen, wie sie dem Naturforscher allenthalben in seinen Untersuchungen aufstossen.

283. Der unermüdliche Rumford stellte eine sorgfältig durchgeführte Reihe von Versuchen an, um das Leitungsvermögen der Substanzen zu prüfen, welche zur menschlichen Kleidung verwendet werden *). Er befolgte hierbei die folgende Methode: Ein Quecksilberthermometer wurde in der Axe einer cylindrischen Glasröhre, welche mit einer Kugel endigte, aufgehängt, so dass der Mittelpunkt der Thermometerkugel in die Mitte der Glaskugel zu hängen kam. Der Zwischenraum zwischen der inneren Fläche der ersteren und der letzteren wurde mit der Substanz angefüllt, deren Leitungsvermögen untersucht werden sollte. Das Instrument wurde in kochendem Wasser erwärmt, hierauf in eine Frostmischung von gestossenem Eis und Salz getaucht, und alsdann wurde die

*) Phil. Trans. 1792, pag. 48.

Zeitdauer beobachtet, welche die Substanz bedurfte, um sich um 135° F. abzukühlen. Die folgende Tabelle giebt diese Zeitdauer an:

	Sekunden.
Gedrehte Seide	917
Feiner Flachs	1032
Baumwolle	1046
Schafwolle	1118
Taffet	1169
Rohe Seide	1264
Biberfell	1296
Eiderdunen	1305
Haasenhaar	1312
Holzasche	927
Kohle	937
Lampenruss	1117

284. Diese Untersuchung zeigte, dass Hasenhaar unter allen oben angeführten Substanzen den stärksten Widerstand gegen den Durchgang der Wärme leistete.

285. Die Ueberleitung der Wärme wird sehr wesentlich durch den mechanischen Zustand des Körpers, durch welche sie hindurchgeht, beeinflusst. Einen deutlichen Beweis hiervon liefert der Unterschied zwischen der rohen und der gedrehten Seide auf der Rumford'schen Tabelle. Reine Kieselerde in Gestalt von Bergkrystall ist ein besserer Leiter als Wismuth oder Blei; allein wenn der Krystall zu Pulver zerstossen wird, verbreitet sich die Wärme nur sehr langsam durch dasselbe. Durchsichtiges Steinsalz ist ein sehr guter, gewöhnliches Tafelsalz ein sehr schwacher Wärmeleiter. Hier sind einige Stücke Asbest, der aus einer faserigen, kieselartigen Substanz besteht; ich lege den Asbest auf meine Hand und auf denselben eine rothglühende eiserne Kugel, und Sie sehen, dass ich die Kugel ohne Schwierigkeit liegen lassen kann; denn der Asbest hält die Wärme zurück. Man kann also

vernünftiger Weise annehmen, eine solche faserige Zertheilung der Substanz lege der Wärmemittheilung Hindernisse in den Weg, denn da die Wärme eine Bewegung ist, so muss jede Unterbrechung des molecularen Zusammenhanges die Ueberleitung dieser Bewegung stören. Beim Asbeste sind die Fasern der Kieselverbindung durch Luft von einander getrennt; die Bewegung muss also im Laufe ihrer Verbreitung von dem festen Körper auf die Luft, welche sehr leicht ist, und von da wieder auf den festen Körper, welcher verhältnissmässig schwer ist, übergehen, und es ist leicht einzusehen, dass die Bewegung sich durch dieses verschiedenartige Gewebe nur sehr unvollkommen mitzutheilen vermag. Thierische Felle zeigen dies noch deutlicher, indem hier nicht nur die Zwischenräume zwischen den einzelnen Haaren mit Luft angefüllt, sondern die Haare an und für sich schlechte Leiter sind. Es ist vorgekommen, dass glühende Lava über eine Schicht von Asche, worunter sich ein Eislager befand, dahinfloss, ohne dass das unten liegende Eis geschmolzen wäre, weil es eben durch das geringe Leitungsvermögen der Asche geschützt wurde. Man kann rothglühende Kugeln in hölzernen, theilweise mit Sand angefüllten Karren an die Kanonenmündungen heranfahren. Eis wird in Sägespäne verpackt, um es vor dem Schmelzen zu schützen; auch Kohlenpulver ist ein sehr schlechter Leiter. Allein manchmal sind Sägespäne, Kohlen oder Spreu ihrer grossen Brennbarkeit wegen nicht zu gebrauchen. In solchen Fällen kann man gemahlenen Gyps vortheilhaft verwenden; schon im festen krystallinischen Zustande ist Gyps ein unvergleichlich viel schlechterer Leiter als Kieselerde, und daraus kann man mit ziemlicher Sicherheit schliessen, dass seine Undurchdringlichkeit im gemahlenen Zustande viel grösser sein

muss, als die des Sandes, wovon jedes einzelne Korn ein guter Leiter ist. Eine Hülle von gemahlenem Gyps rings um einen Dampfkessel würde dessen Wärmeverlust bedeutend vermindern.

286. Im Wasser befinden sich gewöhnlich einige aufgelöste Mineralien. Beim Durchsickern durch die Erde löst das Wasser eine grössere oder geringere Quantität der Substanzen, mit welchen es in Berührung kommt. In kalkigen Districten, zum Beispiel, enthält das Wasser immer eine Quantität von kohlensaurem Kalk; solches Wasser nennt man hartes Wasser. Auch Gyps ist oft im Wasser enthalten. Bei der Verdunstung verfliegt nur das Wasser, während das Mineral oft in so grossen Quantitäten zurückbleibt, dass deren Lösung durch das Wasser unmöglich ist. Manche Quellen enthalten kohlensauren Kalk; wenn solches Wasser nun an die Oberfläche gelangt und an der Luft verdunstet, so schlägt sich, in Folge dessen, das Mineral nieder und bildet Krusten auf den Pflanzen und Steinen, über welche das Wasser herabrieselt. Derselbe Vorgang findet beim Kochen des Wassers statt; die Mineralstoffe bilden einen Niederschlag, und bei uns in London giebt es wohl kaum einen Wasserkessel, dessen Inneres nicht mit einer Kruste von mineralischer Substanz überzogen wäre. In den Dampfkesseln veranlasst dieser Umstand oft sehr ernstliche Schwierigkeiten, indem diese Kruste ein schlechter Leiter ist und dick genug werden kann, um den Durchgang der Wärme zum Wasser erheblich zu erschweren. Hier will ich Ihnen ein Beispiel von dem Unheil, welches daraus entstehen kann, vorzeigen. Dies ist ein Stück von dem Kessel eines Dampfbootes, welches wegen Mangels an Kohlen beinahe zu Grunde gegangen wäre. Um dieses Schiff in den Hafen zu bringen, hatte man sämmtliche Segelsparren und

alles Holz, dessen man irgend habhaft werden konnte, verbrennen müssen. Bei der Untersuchung fand sich diese dicke Kruste im Inneren des Kessels vor. Dieselbe besteht hauptsächlich aus kohlensaurem Kalk, bei dessen schlechtem Leitungsvermögen eine übermässige Quantität von Heizmaterial angewendet werden musste, um die nothwendige Dampfmenge zu erzeugen. Wahrscheinlich ist dies auch die Ursache, warum manche Kessel so lange brauchen, ehe sie ins Sieden kommen.

287. Ich möchte Ihnen jetzt noch einige Beispiele von der Wirkung der guten Leiter in Bezug auf das Verhindern einer örtlichen Wärmeansammlung geben. Ich habe hier zwei Kugeln von gleicher Grösse, die eine ist aus Holz, die andere aus Kupfer. Beide sind mit weissem Papier überzogen. Ich setze eine Spirituslampe unter jede von beiden, und nach einiger Zeit wollen wir die Wirkung derselben untersuchen. Die Wärmebewegung theilt sich natürlich beiden Kugeln mit; allein in der einen wird sie sofort von dem Berührungspunkte der Flamme fort- und durch die ganze Kugel hindurch geleitet; in der anderen hingegen findet diese schnelle Leitung nicht statt, die Bewegung häuft sich also an der Stelle, worauf die Flamme einwirkt, an, und hier sehen Sie die Wirkung. Ich wende die hölzerne Kugel um: das weisse Papier ist ganz verkohlt; ich wende die metallene Kugel um, — hier ist das Papier nicht nur nicht verkohlt, sondern es ist an der unteren Seite sogar nass durch Verdichtung der wässerigen Dünste, welche die Flamme erzeugte.

Hier ist ein fest mit Papier überzogener Cylinder; ich halte sein Centrum über die Lampe und wende ihn so, dass die Flamme den ganzen Cylinder gleichmässig berührt. Sie sehen einen scharf gezeichneten schwarzen

Streifen, auf dessen einer Seite das Papier zu verkohlen beginnt, während die andere Seite weiss bleibt. Der Cylinder besteht zur Hälfte aus Messing, zur Hälfte aus Holz, und der schwarze Streifen zeigt die Vereinigungslinie der beiden Substanzen; da wo das Papier das Holz bedeckt, ist es verkohlt, da wo es das Messing bedeckt, zeigt es keine Spur von Verbrennung.

288. Wenn man die gesammte bewegende Kraft einer gewöhnlichen Flintenkugel auf eine schwere Kanonenkugel übertragen wollte, so würde die letztere dadurch nur in geringe Bewegung versetzt werden. Angenommen die Flintenkugel wöge zwei Unzen und bewegte sich mit einer Geschwindigkeit von 1600 Fuss in der Sekunde, so würde diese bewegende Kraft auf eine Kanonenkugel von 100 Pfund Gewicht angewendet, der letzteren nur eine Geschwindigkeit von 32 Fuss in der Sekunde mittheilen. Dasselbe ist bei der Flamme der Fall, deren Molekularbewegung wohl sehr intensiv, allein deren Gewicht auch sehr gering ist; wenn ihre Bewegung auf einen schwereren Körper übertragen wird, so muss sie beträchtlich an Intensität verlieren. Hier, zum Beispiel, habe ich ein Stück Drahtgaze, dessen Zwischenräume weit genug sind um die Luft frei hindurch zu lassen; und hier ist eine hell brennende Gasflamme. Ich bringe das Drahtgitter auf die Flamme; man sollte meinen, die Flamme würde durch die Maschen des Gewebes hindurch brennen. Allein es dringt kein Funken hindurch, sondern (Fig. 70) die Verbrennung ist durchaus auf den Raum unterhalb des Gitters beschränkt. Ich lösche die Flamme und gestatte nun dem unentzündeten Gase aus dem Brenner zu strömen. Ich bringe hierauf das Drahtgeflecht über den Brenner, und weiss, dass das Gas jetzt frei durch dessen Maschen strömt. Ich zünde das Gas oberhalb des Gitters an, hier haben Sie

die Flamme; allein dieselbe verbreitet sich nicht abwärts zu dem Brenner (Fig. 71), sondern Sie sehen einen dunkeln ungefähr 4 Zoll messenden Zwischenraum zwischen

Fig. 70.

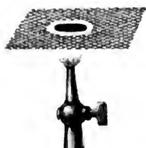
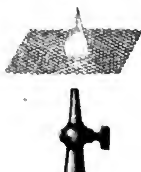


Fig. 71.



dem Brenner und dem Drahtgeflecht; dieser Zwischenraum ist mit Gas angefüllt, welches sich nicht entzündet, trotzdem es sich in einem höchst entzündbaren Zustande befindet. Sie sehen also, dass dieses metallische Gewebe die Flamme aufhält, obwohl es dem Gase freien Durchtritt gestattet. Und warum geschieht dies? Eine gewisse Wärme ist nothwendig, um das Gas zur Entzündung zu bringen; aber indem man das Drahtgeflecht über die Flamme oder die Flamme über das Geflecht bringt, überträgt man die Bewegung des leichten und flackernden Gegenstandes auf das verhältnissmässig schwere Geflecht. Die Intensität der Molekularbewegung wird dadurch, dass sie einer so viel grösseren Masse von Stoff mitgetheilt wird, so bedeutend abgeschwächt, dass sie nicht mehr im Stande ist die Entzündung auf der entgegengesetzten Seite des Gewebes zu bewirken.

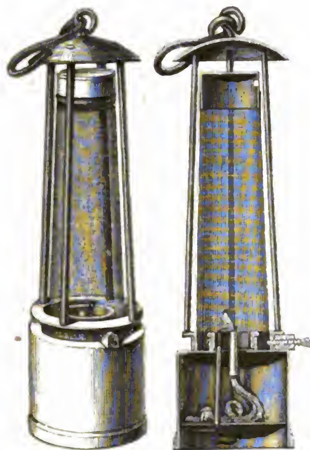
289. Die entsetzlichen Unglücksfälle, welche in unseren Steinkohlenbergwerken durch Explosionen entstehen, sind uns Allen, leider, nur zu sehr bekannt. Sie wissen, dass ein gewisses Gas — eine Verbindung von Kohlen- und Wasserstoff — welches sich in den Kohlenschichten bildet,

die Ursache dieser Explosionen ist. Wenn dieses Gas mit einer hinreichenden Quantität von Luft vermischt ist, so explodirt es bei seiner Entzündung, indem der Kohlenstoff des Gases sich mit dem Sauerstoff der Luft zu Kohlensäure verbindet; während der Wasserstoff des Gases sich mit dem Sauerstoff der Luft verbindet, um Wasser zu bilden. Die Bergleute werden von der Flamme bei der Explosion verbrannt, oder wenn sie hieran noch nicht sterben, ersticken sie in der sich dabei bildenden Kohlensäure. Das ursprüngliche Gas wird von den Bergleuten „schlagendes Wetter", die Kohlensäure aber „böses Wetter" oder „Stickwetter" genannt. Sir Humphry Davy wendete das Drahtgeflecht, nachdem er sich von dessen Wirkung, wie ich sie Ihnen soeben zeigte, überzeugt hatte, auf die Construction einer Lampe an, welche es dem Bergmann möglich machen sollte, sein Licht auch in eine explosive Atmosphäre hinein zu tragen. Vor der Einführung der Sicherheitslampe musste der Bergmann sich mit dem Lichte der Funken von Stahl und Stein begnügen; denn das schlagende Wetter entzündet sich nicht durch diese Funken.

290. Davy umgab eine einfache Oellampe mit einem Cylinder aus Drahtgeflecht (Fig. 72). So lange diese Lampe durch reine Luft ernährt wird, brennt die Flamme mit der gewöhnlichen Helligkeit einer Oelflamme; allein wenn der Bergmann in eine Region kommt, welche „schlagendes Wetter" enthält, so vergrössert sich die Flamme und wird zugleich weniger hell, weil sie anstatt durch den reinen Sauerstoff der Luft gespeist zu werden, nunmehr theilweise von entzündlichem Gase umgeben ist. Diese Vergrösserung der Flamme muss dem Grubenarbeiter eine Warnung zur Umkehr sein. Aber wenngleich die explosive Atmosphäre sich von der äusseren Luft

durch die Maschen des Gewebes ununterbrochen bis zur Flamme im Inneren erstreckt, so wird dennoch die Verbrennung sich nicht durch das Drahtgitter mittheilen. Die Lampe kann mit einer beinahe lichtlosen Flamme angefüllt (Fig. 72) sein, ohne dass deshalb eine Explosion stattfände. Eine schadhafte Stelle am Drahtgewebe, oder die unter Einwirkung der Flamme beschleunigte Oxydirung des Geflechtes würde unfehlbar eine solche herbeiführen. Auch ein unruhiges Hin- und Herbewegen der Lampe in der Luft kann die Flamme mechanisch durch die Maschen des Geflechtes hinausdrängen. Kurz es gehört einige Intelligenz und Vorsicht zu der Handhabung dieser Lampe. Unglücklicherweise ist weder die eine noch die andere bei dem Bergmanne immer vorhanden, und die unglückliche Folge davon ist, dass trotz der Sicherheitslampe noch immer Explosionen stattfinden. Wäre es nicht gut, allen Grubenarbeitern sowohl den Männern als den Knaben die oben beschriebenen Wirkungen sichtbar durch Versuche vor Augen zu führen, ehe man ihnen gestattete ein Bergwerk zu betreten? Blosse Warnungen sind ungenügend um Vorsicht einzu-

Fig. 72.



schärfen; hätte der Bergmann jedoch Gelegenheit, sich eine klare und anschauliche Vorstellung von den Folgen einer Unvorsichtigkeit zu machen, so würde ihm dieser Eindruck noch lange zur Warnung dienen, nachdem die Wirkung blosser Worte längst verschwunden wäre.

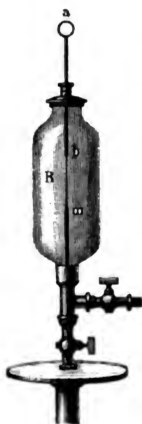
291. Erlauben Sie mir nun noch einige Worte über das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten und Gase. Rumford stellte zahlreiche Versuche über diesen Gegenstand an, worin er sowohl Klarheit der Begriffe als Geschicklichkeit in der Ausführung an den Tag legte. Er nahm an, Flüssigkeiten besässen überhaupt kein Leitungsvermögen, und unterschied genau zwischen Fortführung der Wärme durch Uebertragung und wirklichem Leitungsvermögen, und um diese Fortführung in seinen Flüssigkeiten zu vermeiden, erwärmte er sie von oben herab. Auf diese Weise fand er, dass die Wärme eines erhitzten eisernen Cylinders nicht im Stande war, sich durch eine 0,2 Zoll hohe Schicht Olivenöl zu verbreiten; ferner brachte er Wasser in einer Glasröhre über Eis zum Sieden, ohne dass letzteres dadurch geschmolzen wäre. Die späteren Versuche von Despretz zeigen jedoch, dass Flüssigkeiten wirkliches, wenn auch sehr schwaches, Leitungsvermögen besitzen. Rumford leugnete auch das Leitungsvermögen der Gase, obwohl er mit deren Fortführungsfähigkeit wohl bekannt war*). Professor Magnus in Berlin hat kürzlich den Gegenstand der Wärmeleitung durch Gase wieder aufgenommen, und dieser ausgezeichnete Forscher glaubt durch entscheidende Versuche bewiesen zu haben, dass Wasserstoff die Wärme wie Metall leitet.

---

*) Phil. Trans. 1792. Essays vol. 11, pag. 56.

292. Die abkühlende Wirkung der Luft kann auf folgende Weise anschaulich gemacht werden: Hier ist eine Spirale von Platinadraht, durch welche ich einen Volta'schen Strom leite, bis dieselbe ganz rothglühend ist. Ich ziehe die Spirale zu einer geraden Linie aus und augenblicklich verliert sich das Glühen, so dass es kaum noch sichtbar ist. Dieser Nachlass des Glühens rührt daher, dass die kalte Luft freieren Zutritt zu dem ausgestreckten Draht hat. Ferner haben wir hier ein Glasgefäss *R* (Fig. 73), welches nach Belieben ausgepumpt werden kann; am Boden desselben ist ein verticaler Metallstab *mn* befestigt; am oberen Ende befindet sich ein anderer Metallstab *ab*; welcher durch eine luftdicht schliessende Fassung auf und ab bewegt werden kann, so dass die beiden Stäbe auf jede beliebige Entfernung von einander gebracht werden können. Gegenwärtig sind die Stäbe durch ein 2 Zoll langes Stück Platinadraht *bm* verbunden, welches mittels eines Volta'schen Stromes zu jeder beliebigen Intensität erhitzt werden kann. Hier ist eine kleine Batterie, womit ich nun die geeignete Verbindung herstelle; der Draht ist jetzt kaum leuchtend genug um sichtbar zu sein, und ist auch nur dem Strome aus einer einzigen Zelle ausgesetzt. Er ist von Luft umgeben, welche ihm ohne Zweifel einen Theil seiner Wärme entzieht. Ich pumpe das Gefäss aus — der Draht glüht viel stärker als zuvor. Ich lasse wieder Luft zu — der Draht erlischt sofort

Fig. 73.



und wird vollkommen schwarz; wenn keine neue Luft mehr eindringt, kommt das erste schwache Glühen wieder zum Vorschein. Der eindringende Luftstrom, welcher hier über den Draht hinstreicht und ihn dunkel werden lässt, wirkt ähnlich wie der Strom, welchen der Draht durch Erwärmung der ihn umgebenden Luft selbst hervorbringt. Die Abkühlung des Drahtes ist in beiden Fällen nicht einer wirklichen Wärmeleitung, sondern einer Wärmefortführung zuzuschreiben.

293. Dieselbe Wirkung wird in noch viel höherem Grade erreicht, wenn man Wasserstoff anstatt der Luft anwendet. Wir verdanken diese interessante Beobachtung Herrn Grove, und sie bildet den Ausgangspunkt zu den Forschungen von Magnus. Das Glasgefäss ist jetzt ausgepumpt und der Draht beinahe weissglühend. Die Wirkung der Luft beschränkt sich darauf, das Weissglühen auf Rothglühen zurückzuführen; aber beobachten Sie nun die Wirkung von Wasserstoffgas. Beim Eintritt dieses Gases erlischt der Draht vollkommen, und sogar nachdem das Gefäss mit dem Gas angefüllt ist und die Einströmung aufgehört hat, kommt der Draht nicht wieder zum Glühen. Der elektrische Strom, welchen ich jetzt anwende, kommt aus zwei Zellen, ich nehme ihrer drei; der Draht leuchtet sehr schwach, fünf Zellen bringen eine stärkere Gluth hervor, allein auch jetzt bleibt es beim Rothglühen. Ohne das Vorhandensein des Wasserstoffgases würde der jetzt angewendete Strom den Draht unfehlbar schmelzen machen. Wir wollen sehen, ob dies wirklich der Fall ist. Ich fange an auszupumpen, die ersten Pumpenzüge bringen nur eine fast unmerkliche Wirkung hervor; allein ich fahre fort zu pumpen und jetzt fängt die Wirkung an sichtbar zu werden. Der Draht wird weiss und scheinbar dicker. Von einiger

Entfernung sieht er sich an, wie ein Gänsekiel; jetzt steht er auf dem Punkt zu schmelzen; ich pumpe noch weiter — das Licht erlischt plötzlich, der Draht ist geschmolzen.

294. Dieses ausserordentliche Abkühlungsvermögen des Wasserstoffgases ist gewöhnlich der Beweglichkeit seiner Theilchen zugeschrieben worden, wodurch bei diesem Gase Strömungen leichter eintreten können, als bei irgend einem anderen. Allein Professor Magnus hält die Abkühlung des Drahtes für die Wirkung eines wirklichen Leitungsvermögens. Um die Luftströme zu hemmen, wo nicht zu verhindern, leitete er seinen Platinadraht durch die Axe eines dünnen, mit Wasserstoffgas angefüllten Glascylinders. Obwohl der Draht in diesem Falle nur von einer dünnen Schicht dieses Gases bedeckt war, und man hierbei kaum an die Anwesenheit von Strömungen im gewöhnlichen Sinne des Wortes denken konnte, so war doch diese Schicht eben so gut im Stande den glühenden Draht erlöschen zu machen, als wenn man den letzteren durch ein grosses Gefäss voll Wasserstoffgas leitete. Professor Magnus erwärmte das geschlossene obere Ende eines Gefässes und fand, dass die Wärme aus demselben einem in einiger Entfernung befindlichen Thermometer schneller zugeleitet wurde, wenn das Gefäss mit Wasserstoff, als wenn es mit Luft angefüllt war. Dies war sogar der Fall, wenn das Gefäss leicht mit Baumwolle oder Eiderdunen ausgefüllt war. Hier, sagt er, konnten sich keine Strömungen bilden; die Wärme musste dem Thermometer durch wirkliche Wärmeleitung zugeführt werden, und eine Fortführung konnte hier nicht stattfinden.

295. So schön und sinnreich auch diese Versuche sind, so beweisen sie meiner Ansicht nach dennoch das Leitungsvermögen des Wasserstoffgases nicht endgültig.

Vorausgesetzt, der Draht würde in Professor Magnus' erstem Versuche entlang der Axe eines weiten, Wasserstoff enthaltenden Cylinders gestreckt, so würden wir eine Fortführung im gewöhnlichen Sinne bei Erwärmung des Drahtes haben. Wohin geht die so zerstreute Wärme schliesslich? Sie wird augenscheinlich an den Cylinder selbst abgegeben, und indem wir den Cylinder enger machen, beschleunigen wir einfach die Uebertragung. Wir können die Verengung des Cylinders so lange fortsetzen, bis wir nur noch eine ganz enge Röhre haben; die Fortführung zwischen dem Centrum und der Aussenseite wird fortdauern und dieselbe abkühlende Wirkung wie zuvor hervorbringen. Da die Wärme des Gases sogleich an die schwere Röhre abgegeben, und dadurch schnell vermindert wird, so ist es gleich wieder bereit, dem Drahte immer von Neuem Wärme zu entziehen. Was das von oben erwärmte Gefäss betrifft, so würde es eine mathematisch horizontale Oberfläche und eine vollkommen gleichmässige Wärmeeinwirkung auf diese Oberfläche erfordern, — ausserdem würde es nöthig sein die Wärme scharf von den Seiten des Gefässes abzuschneiden — um eine Fortführung zu verhindern. Auch in den Zwischenräumen der Eiderdunen oder der Baumwolle kann sich die der Fortführung dienende Beweglichkeit des Wasserstoffes bemerklich machen, und wenn ich alles in Rechnung ziehe, so ist meiner Meinung nach die Frage über das Leitungsvermögen der Gase noch als eine offene zu betrachten *).

*) Ich meine, auch die Frage über das Leitungsvermögen der Flüssigkeiten erfordere noch weitere Untersuchungen.

Achtes Kapitel.

Abkühlung ein Verlust an Bewegung: wem wird diese Bewegung mitgetheilt? — Versuche über den Schall in Bezug auf diese Frage. — Versuche über das Licht in Bezug auf diese Frage. — Emissions- und Undulationstheorie. — Länge der Wellen und Zahl der Schwingungen. — Physikalische Ursachen der Farbe. — Unsichtbare Strahlen des Spectrums. — Die Wärmestrahlen jenseit des Roth. — Die chemischen Strahlen jenseit des Blau. — Erklärung der strahlenden Wärme. — Betrachtung der von ebenen und gekrümmten Flächen ausgestrahlten Wärme: dieselben Gesetze, wie die des Lichtes. — Versuch mit zwei Hohlspiegeln.

Anhang: Ueber tönende Flammen.

296. Wir sind jetzt am Ende des ersten grossen Abschnittes unseres Gebietes angelangt. Wir haben bisher die Wärme behandelt, so weit sie mit festen, flüssigen und gasförmigen Körpern verbunden war. Wir haben gefunden, dass sie eine Aenderung des Volums dieser Körper hervorzurufen vermochte. Wir haben gesehen, dass sie feste Körper in flüssige, flüssige in Dämpfe verwandeln kann; und ferner, dass sie in festen Körpern durch Leitung fortgeführt wird und sich in Flüssigkeiten und Gasen durch Mitführung vertheilen kann. Wir müssen ihr Wesen jetzt unter Bedingungen studiren, die von den bis jetzt betrachteten vollständig verschieden sind.

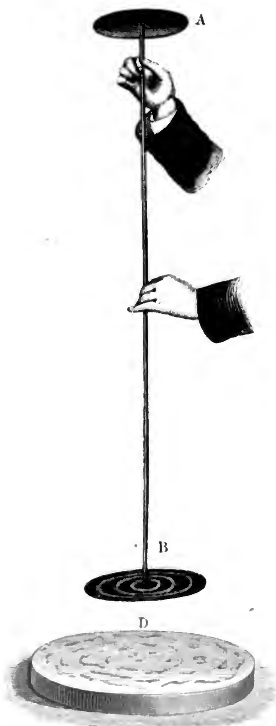
297. Ich hänge diese erhitzte kupferne Kugel in der Luft auf; wir sehen sie glühen, die Gluth nimmt ab, die Kugel wird dunkel; sie kühlt sich ab. Wir wissen, nach dem was über die Natur der Wärme gesagt worden ist, dass diese Abkühlung in einem Verlust an molekularer Bewegung der Kugel besteht. Aber Bewegung kann nicht verloren gehen: sie muss auf etwas Anderes übertragen worden sein; wem ist nun die molekulare Bewegung der Kugel mitgetheilt worden? Sie würden vielleicht antworten, der Luft, und das wäre zum Theil richtig: über die Kugel strömt Luft, die sich an ihr erwärmt und in Säulenform erhebt; wir können dieselbe leicht sichtbar machen, wenn wir das Licht der elektrischen Lampe durch die erhitzte Luft auf einen Schirm werfen. Aber nicht die ganze, nicht einmal der grösste Theil der molekularen Bewegung in der Kugel wird auf diese Weise abgegeben. Hinge die Kugel im luftleeren Raum, so würde sie sich auch dort abkühlen. Rumford, den wir so oft erwähnt haben, hing ein kleines Thermometer an einem feinen seidenen Faden inmitten einer, vermittelst Quecksilber luftleer gemachten Glaskugel auf und fand, dass die Wärmestrahlen durch den luftleeren Raum strömten; ein Beweis, dass die Wärmeabgabe von der Luft unabhängig ist. Davy, dessen Apparat vor mir steht, zeigte, dass die heissen Strahlen des elektrischen Lichtes frei durch einen luftleeren Raum gehen; wir können dieses Experiment leicht selbst wiederholen. Ich nehme den schon benutzten Recipienten (Fig. 73) und befestige, nachdem ich die Reste des damals zerstörten Platindrahtes fortgenommen, an den Enden der beiden Drähte *mn* und *ab* ein Stückchen Gaskohle. Ich mache nun den Raum luftleer, bringe die Kohlenspitzen zusammen und leite einen Strom von der einen Spitze zur anderen. So wie die letzteren ein wenig von ein-

ander entfernt werden, sieht man das elektrische Licht. Neben dem Apparat steht die thermo-elektrische Säule, um einen Theil der Strahlen aufzufangen. Die Nadel des Galvanometers fliegt augenblicklich seitwärts, vermöge der Strahlen, die den luftleeren Raum durchkreuzt haben.

298. Wem theilt sich aber die Bewegung unserer sich abkühlenden Kugel mit, wenn nicht der Luft? Wir müssen allmählich die Antwort auf unsere Frage finden. Es war ein grosser Fortschritt in der Wissenschaft, als man zuerst klar begriff, auf welche Weise der Schall sich durch die Luft fortpflanzt; besonders wichtig aber war das Experiment, durch welches Hauksbee im Jahre 1707 in der Royal society nachwies, dass der Schall sich nicht durch den luftleeren Raum fortpflanzen kann. Ich möchte Ihnen nun zuerst diese Fortpflanzung der Schwingungen des Schalles durch die Luft beweisen. Ich habe hier eine Glocke, die mit ihrer Oeffnung nach oben auf einem Ständer befestigt ist. Ich fahre mit einem Violinbogen über den Rand der Glocke; Sie hören ihren Ton; die Glocke schwingt jetzt, und wenn ich Sand auf ihren abgeflachten Boden streute, so würde er sich dort in einer bestimmten Figur anordnen, oder wenn ich sie mit Wasser füllte, so würde die Oberfläche desselben schöne Kräuselungen bilden. Diese Kräuselungen zeigen, dass sich die Glocke, als sie den Ton von sich gab, in vier schwingende Theile theilte, die durch nicht schwingende Linien von einander getrennt wurden. Dieses Stück Papier habe ich fest über einen Ring gespannt, so dass er eine leicht zerbrechliche Trommel bildet. Ich halte sie über die schwingende Glocke, aber ohne dieselbe zu berühren, und Sie werden das Zittern des Papieres hören. Es ist etwas zu lose gespannt, ich werde es über dem Feuer erwärmen, um es

stärker zu spannen, und das Experiment wiederholen. Jetzt hören Sie das Zittern nicht mehr, aber einen lauten musikalischen Ton, der zu dem der Glocke hinzukommt. Ich hebe und senke die Membran, ich bewege sie hin und her, und Sie hören das Anschwellen und das Schwächerwerden des Tons. Hier ist eine kleinere Trommel, die ich in verticaler Lage rings um die Glocke führe; so wie ich sie der Glocke auf einen halben Zoll nähere, hört man sie förmlich rauschen. Die durch die Luft fortgepflanzte Bewegung der Glocke hat sich der Membran mitgetheilt, und diese ist dadurch in einen tönenden Körper verwandelt worden.

Fig. 74.



299. Ich habe hier zwei dunkel bronzirte Messingplatten *A B* (Fig. 74), die durch einen Metallstab verbunden sind, und streue auf beide feinen, weissen Sand. Ich fasse den messingenen Verbindungsstab in der Mitte mit dem Zeigefinger und Daumen meiner linken Hand,

halte ihn aufrecht und streiche mit der rechten Hand mit einem Stück Flanell, das mit etwas gepulvertem Harz bestreut worden ist, den Stab entlang. Sie hören den Ton; beobachten Sie nun aber die Bewegungen des Sandes: ein einziger Strich meines Fingers hat ihn bewogen, sich in eine Reihe von concentrischen Ringen zu legen, die Sie alle sehen können. Ich wiederhole das Experiment, indem ich schwächer streiche; Sie hören einen klaren, schwachen, musikalischen Ton, Sie sehen den Sand zittern und allmählich zu den Linien zurückkehren, die er vorher gebildet hatte, und nun sind die Curven auf der Oberfläche der unteren Scheibe so scharf gezeichnet, als ob sie mit einem Pinsel gezogen worden wären. Auf der oberen Scheibe sehen Sie eine Reihe von concentrischen Kreisen derselben Art. In der That haben sich die Schwingungen, in die ich den Stab versetzt habe, beiden Scheiben mitgetheilt, und jede von ihnen in eine Reihe von schwingenden Abschnitten zerlegt, die von einander durch nicht schwingende Linien getrennt sind, auf denen der Sand Ruhe findet.

300. Ich will Ihnen jetzt die Mittheilung dieser Schwingungen von der unteren Scheibe durch die Luft zeigen. Auf dem Fussboden liegt eine Papiertrommel *D*, auf die dunkelgefärbter Sand gleichmässig aufgestreut worden ist; ich mag auf dem Tische, ich mag dicht an der Decke des Zimmers stehen und ich werde immer denselben Erfolg haben, den Sie jetzt beobachten. Während ich den Stab, der meine Platten verbindet, gegen die Papiertrommel richte, führe ich meinen geharzten Flanell kräftig den Stab entlang; beobachten Sie den Erfolg: ein einziger Strich hat den Sand veranlasst, sich in ein netzförmiges Muster zu legen. Ein ganz gleicher Erfolg wird durch den Schall auf dem Trommelfell des Ohres hervorgerufen;

dasselbe wird in derselben Weise, wie die Trommel von Papier, in Schwingungen versetzt, und seine Bewegung, die sich den Gehörnerven mittheilt und von diesen auf das Gehirn übertragen wird, erweckt in uns die Wahrnehmung des Tones.

301. Ich habe hier noch ein schlagendes Beispiel von der Mittheilung des Tones durch die Luft. Ich lasse einen Strom von Leuchtgas durch eine kleine Oeffnung ausströmen und erhalte eine kleine Flamme, die ich durch die Stellung des Hahns auf die Höhe eines halben Zolles herunter bringen kann. Die Flamme führe ich in eine 12 Zoll lange Glasröhre *AB* (Fig. 75) ein. Ich bitte Sie jetzt um Erlaubniss, diese Flamme anzureden, und wenn ich geschickt genug bin, meine Stimme bis zum richtigen Ton zu erheben, so wird die Flamme antworten. Sie wird plötzlich in einen melodischen Gesang ausbrechen und so lange zu singen fortfahren, als das Gas brennt. Ich habe den Brenner jetzt so in die Röhre gestellt, dass sie ihn bis zu der Tiefe einiger Zolle bedeckt. Stände die Röhre niedriger, so würde die Flamme von selbst singen, wie bei der wohlbekannten chemischen Harmonika; bei der jetzigen Einrichtung kann sie aber nicht eher singen, als bis ich es ihr befehle. Ich gebe jetzt einen Ton an, dessen unmusikalischen Klang Sie entschuldigen werden. Die Flamme antwortet nicht; ich habe nicht in der richtigen Sprache mit ihr gesprochen. Ich will es noch einmal versuchen, ich gebe einen höheren Ton an; die Flamme strengt ihre kleine Kehle an und jedes Mitglied dieser grossen Versammlung hört ihren Ton. Ich unterbreche den Gesang und stelle mich in eine grössere Entfernung von der Flamme; nun, da ich die richtige Höhe herausgefunden habe, bin ich sicher, dass das Experiment gelingen muss, und ich kann von einer Entfernung von 20 oder 30 Fuss

aus die Flamme singen lassen. Ich bringe sie wieder zum Schweigen, drehe ihr den Rücken zu und gebe den

Fig. 75.



Ton an wie vorher; Sie sehen, wie gehorsam sie meiner Stimme ist; wenn ich rufe, antwortet sie, und mit ein wenig Uebung ist es mir gelungen, einer Flamme zu befehlen, wann sie singen und wann sie schweigen soll und sie leistet meinen Befehlen unbedingt Folge. So haben wir denn hier einen schlagenden Beweis von der Mittheilung der Schwingungen des Stimmorgans durch die Luft.

an einen Körper, der sehr empfänglich für ihre Wirkung ist*).

302. Warum machen wir dieses Experiment über den Schall? Nur um Ihnen einen klaren Begriff über das zu geben, was bei der Wärme vorgeht, um Sie vom Sichtbaren zum Unsichtbaren zu führen, von dem Reiche der Sinne zu dem der physikalischen Theorie.

303. Nachdem die Naturforscher mit der Art bekannt geworden waren, in der der Schall hervorgerufen und fortgepflanzt wurde, führte die Analogie Einige von ihnen auf die Vermuthung, dass das Licht in ähnlicher Weise erzeugt und fortgepflanzt werden könnte. Und vielleicht ist nie in der ganzen Geschichte der Wissenschaft leidenschaftlicher gekämpft worden, als um diese Frage. Sir Isaac Newton nahm an, dass das Licht aus einzelnen Theilchen bestände, die von den leuchtenden Körpern ausgestrahlt würden: dies war die berühmte Emissionstheorie. Huyghens, der Zeitgenosse Newton's, konnte sich nicht in den Gedanken einer solchen Kanonade von Lichttheilchen finden, bei der dieselben mit unglaublicher Schnelligkeit durch den Raum flögen und sich doch nicht stören sollten. Dieser berühmte Gelehrte hatte die Ansicht, dass das Licht durch Schwingungen hervorgerufen würde, die denen des Schalles ähnlich wären. Euler unterstützte Huyghens, und einer von seinen Beweisgründen ist, wenn auch nicht physikalisch, doch so eigenthümlich und sonderbar, dass ich ihn hier

*) Obgleich es nicht zu unserem Gegenstande gehört, so haben doch so viele Personen Interesse für dieses Experiment gezeigt, dass ich mich bewogen gefühlt habe, zwei kurze Abhandlungen in dem Anhange zu diesem Kapitel abzudrucken, in denen das Experiment weitläuftiger beschrieben worden ist.

wiederholen will. Er betrachtet unsere verschiedenen Sinne und die Art, in der sie durch äussere Eindrücke berührt werden. „Was den Geruch anbetrifft,“ sagt er, „wissen wir, dass er durch materielle Theilchen hervorgerufen wird, die von einem flüchtigen Körper ausgehen. Beim Hören löst sich nichts vom klingenden Körper ab und beim Fühlen müssen wir den Körper selbst berühren. Die Entfernung, bei der unsere Sinne Körper bemerken, ist beim Gefühl null, beim Riechen klein, beim Hören bedeutender, aber beim Sehen am allergrössten. Es ist deshalb wahrscheinlicher, dass dieselbe Art der Fortpflanzung für Schall und Licht bestehe, als dass Geruch und Licht in derselben Weise fortgepflanzt werden sollten; — dass leuchtende Körper sich nicht wie flüchtige Substanzen, sondern wie tönende verhalten.“

304. Die Autorität Newton's unterdrückte die Ansicht dieser Männer, und nicht eher als bis ein genialer Mann, der hier an diesem Orte wirkte, den Gegenstand wieder aufnahm, hatte die Theorie der Schwingungen einige Aussicht mit der Emissionstheorie zu wetteifern. Die unsterbliche Ehre, sich von dem allzugrossen Autoritätsglauben befreit und auf einer sicheren Grundlage die Theorie der Schwingungen aufgebaut zu haben, gebührt Dr. Thomas Young, früherem Professor der Naturwissenschaften an diesem Institute. Es sind in diesen Räumen grosse Dinge geschehen; aber kaum ein grösseres als dieses. Und Young wurde zu seiner Schlussfolgerung über das Licht durch eine Reihe von Untersuchungen über den Schall geführt. Er ging, wie wir in diesem Augenblicke, von dem Bekannten zum Unbekannten, von dem Sichtbaren zum Unsichtbaren über. Durch die genialsten Arbeiten ist seit Young dieser Gegenstand gefördert und bereichert worden; aber nur

einen Namen will ich hier neben dem seinen nennen, einen Namen, der in Verbindung mit dieser Frage niemals vergessen werden darf, den von Augustin Fresnel.

305. Nach der jetzt allgemein angenommenen Theorie besteht das Licht aus einer Schwingungsbewegung der einzelnen Theilchen des leuchtenden Körpers; aber wie wird diese Bewegung unseren Sehwerkzeugen mitgetheilt? Der Schall hat die Luft als sein Medium, und dem entsprechend hat eine genaue Untersuchung der Phänomene des Lichtes durch die feinsten und entscheidendsten Experimente die Naturforscher zu dem Schlusse geführt, dass der Raum von einer unendlich elastischen Substanz erfüllt sei, durch welche die Lichtimpulse ihren Weg nehmen. Ihre Begriffe hierüber müssen ganz klar sein. Der Verstand kennt keinen Unterschied zwischen gross und klein: er kann sich ebenso leicht das schwingende Atom vorstellen wie die schwingende Kanonenkugel, und es ist nicht schwieriger, sich den sogenannten Lichtäther, der den Raum erfüllt, zu denken, als dass der ganze Raum mit Gelatine angefüllt wäre. Sie müssen sich also vorstellen, dass die Atome schwingen, und diese Schwingungen dem Aether, in dem sie sich bewegen, mittheilen, da sie durch ihn in Wellen fortgepflanzt werden; diese Wellen treten durch die Pupille in das Innere des Auges ein und fallen hinten im Auge auf die Retina. Vergessen Sie nicht, dass diese Thatsache ebenso gewiss und ebenso mechanisch ist, wie das Brechen der Wellen der See am Strande. Die Bewegung des Aethers wird der Retina mitgetheilt, von ihr aus durch den optischen Nerven zum Gehirn weitergeführt, und kündigt sich daselbst dem Bewusstsein als Licht an.

306. Ich habe hier eine elektrische Lampe, die Sie

Alle kennen, und werfe auf den, Ihnen gegenüber aufgestellten Schirm ein Bild der weissglühenden Kohlenspitzen, welche das elektrische Licht erzeugen. Ich will erst die Spitzen mit einander in Berührung bringen und sie dann wieder von einander trennen. Beobachten Sie die Wirkung. Zuerst wird der Berührungspunkt leuchtend und dann sehen Sie, wie die Gluth, der Kohle entlang, bis zu einer gewissen Entfernung abwärts geführt wird. Es ist dies, wie Sie wissen, in Wirklichkeit eine Fortleitung von Bewegung. Ich unterbreche den galvanischen Strom. Noch eine kurze Zeit glühen die Spitzen, dann erlischt das Licht. Die Kohlenspitzen sind jetzt ganz dunkel, haben sie aber deshalb aufgehört auszustrahlen? Keineswegs. In diesem Augenblick noch findet eine reichliche Ausstrahlung von den Spitzen statt, die freilich die Sehnerven nicht zu afficiren vermag, wohl aber andere Nerven des menschlichen Körpers erregt. Für das Auge des Naturforschers, der diese Dinge ohne Beziehung auf die subjective Empfindung betrachtet, sind diese dunklen Ausstrahlungen ganz von derselben Art, wie diejenigen, welche den Eindruck des Lichtes hervorbringen. Sie müssen sich daher die Theilchen des erhitzten Körpers in einem Zustande der Bewegung vorstellen; diese Bewegung denken Sie sich dem umgebenden Aether mitgetheilt und durch ihn mit einer Geschwindigkeit fortgepflanzt, die wir mit dem grössten Rechte für die gleiche halten können, wie die des Lichtes. So verdanken Sie das Gefühl der Wärme, wenn Sie sich an einem kalten Tage zum Feuer wenden und Ihre erstarrten Hände seiner Einwirkung aussetzen, dem Anprall der Aetherwellen auf Ihre Haut. Sie setzen die Nerven in Bewegung, und die Empfindung, welche dieser Bewegung entspricht, ist das, was wir im gewöhnlichen Leben Wärme nennen. Unsere Aufgabe für die ferneren Vor-

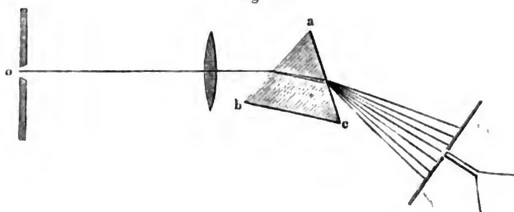
lesungen ist es, die so durch den Aether fortgepflanzte Wärme zu untersuchen. In dieser Gestalt heisst sie die strahlende Wärme.

307. Zur näheren Untersuchung der strahlenden Wärme besitzen wir unsere unschätzbare thermo-elektrische Säule, deren Vorderfläche jetzt mit Lampenruss bedeckt ist, durch welchen die strahlende Wärme kräftig absorbirt wird. Ich halte das Instrument vor die Wange meines Assistenten; er ist ein strahlender Körper, und nun beobachten Sie, welche Wirkung seine Strahlen hervorbringen; die Säule nimmt sie auf, sie erregen Elektricität und die Nadel des Galvanometers bewegt sich nach der einen Seite bis zu 90°. Ich entferne die Säule von der Wärmequelle, lasse die Nadel in Ruhe kommen und bringe nun ein Stück Eis vor die Säule. Sie sehen eine Abweichung der Nadel nach der entgegengesetzten Richtung, als ob Kältestrahlen das Instrument träfen. Aber Sie wissen, dass in diesem Falle die Säule der heisse Körper ist; sie strahlt ihre Wärme gegen das Eis aus; die Oberfläche der Säule wird abgekühlt und die Nadel geht bis zu 90° auf der Seite der Kälte. Unsere Säule ist also nicht nur brauchbar für die Untersuchung der durch directe Berührung mitgetheilten Wärme, sondern auch für die Untersuchung der strahlenden Wärme. Wir wollen sie sogleich zu einer sehr wichtigen Untersuchung verwenden und mit ihrer Hülfe die Vertheilung der wärmenden Kraft im elektrischen Spectrum untersuchen.

308. Ich will Ihnen erst dieses Spectrum zeigen. Ich lasse einen schmalen Streifen reinen weissen Lichtes durch einen Spalt *o* (Fig. 76), durch eine biconvexe Linse und durch ein Prisma *abc* fallen, welches aus ebenen Glasplatten zusammengesetzt und mit einer Flüssigkeit, Schwefelkohlenstoff, gefüllt ist. Es giebt ein glänzenderes und

breiteres Farbenspectrum als Glas und deshalb ziehe ich es einem Glasprisma vor. So wäre denn der weisse Strahl zerlegt und auf die Farben zurückgeführt, aus denen er zusammengesetzt ist. Sie haben das brennende Roth, das

Fig. 76.

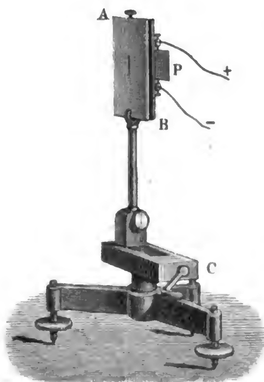


lebhafte Orange, das blendende Gelb, das glänzende Grün und die verschiedenen Schattirungen des Blau. Man theilt gewöhnlich die blauen Nuancen in Blau, Indigo und Violett ab. Ich will jetzt eine thermo-elektrische Säule von besonderer Construction langsam nacheinander durch diese Farben führen, um ihre erwärmende Kraft zu prüfen, und ich bitte Sie, die Nadel des Galvanometers zu betrachten, welche die Grösse dieser Kraft anzeigen wird.

309. Das Experiment wird mit einem schönen Apparat gemacht (Fig. 77 a. f. S.), der von Melloni angegeben und von Herrn Ruhmkorff mit seiner gewöhnlichen Geschicklichkeit ausgeführt worden ist. Sie sehen hier eine polirte Messingplatte *AB*, die an einem Stab befestigt ist; dieser Stab ist auf einem horizontalen Schlitten aufgestellt, welcher mittelst einer Schraube hin und her bewegt werden kann. Wenn ich die Kurbel *C* von Elfenbein in einer Richtung drehe, so vermag ich die messingene Platte vorwärts zu

bewegen, drehe ich sie nach der anderen Richtung, so geht sie zurück, und die Bewegung ist so exact und so allmählich, dass ich den Schirm leicht und sicher um weniger als $^1/_{2000}$ Zoll verschieben könnte. Sie sehen einen schmalen verticalen Spalt in der Mitte der Platte und etwas Dunkles dahinter. Dieses Dunkle ist die geschwärzte Oberfläche einer thermo-elektrischen Säule *P*, deren Elemente in einer einzelnen Reihe angeordnet sind und nicht, wie bei dem anderen Instrumente, in einem Quadrat. Ich will verschiedene Theile des Spectrums auf den Spalt fallen lassen; jedes wird so viel Wärme, als es besitzt, der Säule mittheilen und die Wärmemenge wird durch den Ausschlag der Nadel des Galvanometers angegeben werden.

Fig. 77.



310. Jetzt fällt ein schmales, aber glänzendes Spectrum auf die Platte *AB*, der Spalt ist aber ganz ausserhalb des Spectrums. Ich drehe die Kurbel, und der Spalt nähert sich dem violetten Ende des Spectrums allmählich; das violette Licht fällt jetzt auf ihn, aber die Nadel bewegt sich nicht merklich. Ich gehe weiter zum Indigo, die Nadel bleibt ruhig, auch im Blau zeigt sie keine Bewegung. Ich gehe über zum Grün, die Nadel rührt sich nicht; jetzt fällt das Gelb auf den Spalt, und nun ist vielleicht zum ersten Male die Bewegung der Nadel für Sie sichtbar, aber die Abweichung ist gering, obgleich ich

jetzt die Säule dem leuchtendsten Theile des Spectrums aussetze*). Ich will jetzt zum Orange übergehen, das weniger leuchtet als das Gelb, aber Sie werden bemerken, dass, wenn auch das Licht abnimmt, die Wärme zunimmt; die Nadel bewegt sich weiter. Ich gehe zum Roth über, das noch weniger leuchtet als das Orange, und Sie sehen, dass wir hier die grösste wärmende Kraft haben, welche von irgend einem der sichtbaren Theile des Spectrums ausgeübt wird.

311. Doch möchte es Ihnen bei dem Anblick dieses brennenden Roth natürlich scheinen, dass eine solche Farbe wärmer sei als die übrigen; darum geben Sie nun Acht. Ich will meinen Spalt ganz aus dem Spectrum heraustreten lassen, ganz ausserhalb des äussersten Roth. Sehen Sie das Galvanometer! Die Nadel geht schleunig bis zu den Hemmungen. So haben wir hier ein Wärmespectrum, das wir nicht sehen können, und dessen Wärmewirkung weit grösser ist, als die irgend eines Theiles des sichtbaren Spectrums. In der That strahlt das elektrische Licht, mit dem wir arbeiten, eine unzählige Menge von Strahlen aus, die durch unsere Linse gesammelt, durch unser Prisma gebrochen werden und die Verlängerung unseres Spectrums bilden, aber ganz unfähig sind, den optischen Nerven zum Sehen anzuregen. Ebenso verhält es sich mit der Sonne. Dieselbe ist reich an diesen dunkeln Strahlen, und obgleich sie zum grössten Theil durch unsere Atmosphäre aufgefangen werden, so erreichen uns doch noch grosse Mengen von ihnen. Dem grossen Forscher William Herschel verdanken wir diese Entdeckung.

---

*) Ich arbeite mit einem grossen Vorlesungs-Galvanometer.

312. So haben wir bewiesen, dass das Spectrum sich auf der rothen Seite weit über die sichtbaren Grenzen hinauszieht, und wenn ich, statt Linsen und Prismen von Glas zu benutzen, Linsen und Prismen von Steinsalz verwenden könnte, so würde ich Ihnen zeigen, wie Melloni es gethan hat, dass diese Strahlen sich noch viel weiter ausdehnen, als ich es jetzt beweisen kann. In der That ist das Glas, obgleich es sehr durchsichtig für Licht ist, doch zum grossen Theil undurchsichtig für diese dunkeln Strahlen; statt dass sie den Schirm erreichen, bleiben sie in der Mehrzahl im Glase hängen.

313. So bezeichnet das sichtbare Spectrum einfach ein bestimmtes Intervall der Ausstrahlung, in welchem die Strahlen in einem solchen Verhältnisse zu unserer Organisation stehen, dass sie den Eindruck des Lichtes hervorrufen; jenseits dieses Intervalls, nach beiden Richtungen hin, findet die Strahlung auch statt — dunkle Strahlen treten auf — die, welche jenseits des Roth liegen, erwecken Wärme, die, welche jenseits des Violett, eine chemische Thätigkeit. Diese letzten Strahlen können sichtbar gemacht werden; oder genau gesprochen, die Schwingungen oder Wellen, die jetzt hier jenseits des Violetten gegen den Schirm fallen, können, obgleich sie unfähig sind, den Gesichtssinn zu erregen, gezwungen werden, auf einen anderen Körper aufzufallen, ihm ihre Bewegung mitzutheilen und so den dunkeln Raum jenseits des Violett wirklich in einen glänzend erleuchteten zu verwandeln. Ich habe hier die Mittel, um das Experiment zu machen. Die untere Hälfte dieses Papierstreifens ist mit einer Lösung von schwefelsaurem Chinin bestrichen worden, die obere Hälfte blieb in ihrem natürlichen Zustande. Wenn ich das Papier so halte, dass die Grenzlinie zwischen

der präparirten und der unpräparirten Hälfte horizontal ist, so schneidet sie das Spectrum in zwei gleiche Theile; die obere Hälfte bleibt unverändert und Sie können die untere mit ihr vergleichen, auf der ich das Spectrum verlängert zu finden hoffe. Sie sehen das Resultat des Versuches; wir haben einen prachtvollen, fluorescirenden Streifen, einige Zoll breit, wo den Augenblick vorher alles noch dunkel war. Ich nehme das präparirte Papier fort und das Licht verschwindet. Ich bringe es wieder zurück und das Licht bricht wieder hervor und zeigt Ihnen auf die anschaulichste Art, dass die sichtbaren Grenzen des gewöhnlichen Spectrums bei weitem nicht die Grenzen der Strahlung sind. Ich tauche einen Pinsel in diese Lösung von schwefelsaurem Chinin und spritze sie gegen das Papier; wohin die Lösung fällt, bricht das Licht hervor. Die Existenz dieser ausserhalb des Violett liegenden Strahlen war lange bekannt; sie waren Thomas Young bekannt, der über sie experimentirte, aber die völlige Aufklärung über diesen Gegenstand verdanken wir Professor Stokes. Er machte auf die beschriebene Art die Strahlen sichtbar.

314. Wie haben wir uns nun die Strahlen, die sichtbaren und die unsichtbaren, vorzustellen, die den grossen Raum auf diesem Schirm erfüllen? Warum sind einige von ihnen sichtbar und andere nicht? Warum unterscheiden sich die sichtbaren durch verschiedene Farben? Können wir in den Schwingungen, die diese Farben hervorrufen, einen physikalischen Grund für die Färbung auffinden?

Beobachten Sie zuerst, dass der ganze weisse Strahl durch das Prisma aus seiner Bahn abgelenkt oder gebrochen wird; aber das Violett ist mehr seitlich abgelenkt als das Indigo, das Indigo mehr als das Blau, das Blau mehr als

das Grün, das Grün mehr als das Gelb, das Gelb mehr als das Orange, und das Orange mehr als das Roth. Diese Farben sind verschieden brechbar, und darauf beruht die Möglichkeit ihrer Trennung. Jedem einzelnen Grade der Brechung gehört eine bestimmte Farbe und keine andere an. Doch warum sollte das Licht bei einem Grade der Brechung die Empfindung des Roth, und bei einem anderen Grade die Empfindung des Grün hervorrufen? Diese Frage führt uns dazu, die Ursache dieser Empfindungen genauer zu betrachten.

315. Die Betrachtung einiger Erscheinungen aus dem Gebiete der Akustik wird unseren Vorstellungen hierbei wesentlich zu Hülfe kommen. Stellen Sie sich eine hin und her schwingende Harfensaite vor; sie schwingt vorwärts und drängt die Lufttheilchen, die vor ihr liegen, zusammen; so bringt sie eine Luftverdichtung hervor. Sie geht zurück, und die Theilchen hinter ihr treten weiter auseinander; in anderen Worten, es entsteht eine Verdünnung der Luft hinter dem zurückgehenden Draht. Die Saite geht wiederum vorwärts und bewirkt eine Verdichtung wie vorher, sie geht zurück und erzeugt eine Verdünnung. So ist der Zustand der Luft, durch die der Ton der Saite fortgepflanzt wird, eine regelmässige Folge von Verdichtungen und Verdünnungen, welche sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 1100 Fuss in der Secunde ausbreiten.

316. Die Verdichtung und Verdünnung bilden zusammen das, was man einen Tonimpuls oder eine Schallwelle nennt; natürlich geht die eine derselben allmählich in die andere über. Die Länge der Welle wird durch den Abstand vom Mittelpunkt einer Verdichtung bis zu dem der nächsten gemessen. Je schneller nun die Saite schwingt, desto schneller werden sich diese Impulse folgen und desto

kürzer wird in derselben Zeit die Länge jeder einzelnen Welle sein. Von diesen Unterschieden hängt die Höhe eines Tons in der Musik ab. Will der Violinspieler einen höheren Ton hervorrufen, so kürzt er die Saite, indem er den Finger darauf legt und dadurch die Schnelligkeit der Schwingungen vermehrt. Halbirt der Punkt, wo er drückt, gerade die Länge der Saite, so erhält er die Octave des Tons, mit dem die Saite klingt, wenn sie als Ganzes schwingt. Knaben werden im Chor ausgewählt, um die hohen Töne zu singen, Männer für die Basstöne; aus dem Grunde, weil die Stimmorgane des Knaben schneller schwingen als die des Mannes. In gleicher Weise ist das Summen der Mücke schärfer, als das des Käfers, weil das kleinere Insekt eine grössere Menge von Impulsen in der Sekunde dem Ohr zusenden kann.

317. Wir haben uns jetzt unseren Weg zum vollen Verständniss der physikalischen Ursache der Farbe gebahnt. Dieses Spectrum ist das für das Auge, was die Tonleiter für das Ohr ist; seine verschiedenen Farben stellen Töne von verschiedener Höhe vor. Die Schwingungen, welche den Eindruck des Roth hervorrufen, sind langsamer, und die Aetherwellen, welche sie erzeugen, sind länger als die, welche den Eindruck des Violett hervorrufen, während die anderen Farben durch Wellen von dazwischen liegender Länge erzeugt werden. Die Länge der Wellen, sowohl des Schalls als auch des Lichts und die Zahl der Anstösse, die sie dem Ohr und dem Auge ertheilen, sind genau bestimmt. Wir wollen hier eine einfache Berechnung anstellen. Das Licht durcheilt den Raum mit einer Geschwindigkeit von 192,000 englischen oder 42,000 geographischen Meilen oder von 12,165,120,000 Zollen in der Sekunde. Man hat nun gefunden, dass 39,000 aufeinander folgende Wellen von rothem Licht den Raum

eines Zolles ausfüllen würden; multipliciren wir die Zahl der Zolle in 192,000 Meilen mit 39,000, so erhalten wir die Zahl der Wellen von rothem Licht in 192,000 Meilen: diese Zahl beträgt 474,439,680,000,000. Alle diese Wellen treten in einer Sekunde in das Auge. Um den Eindruck des Roth im Gehirn hervorzurufen, muss die Retina durch diese fast unglaubliche Zahl von Wellen getroffen werden. Um den Eindruck des Violett hervorzurufen, ist eine noch viel grössere Menge von Impulsen nöthig; es würden 57,500 Wellen von Violett nöthig sein, um einen Zoll auszufüllen, und die Zahl der Anstösse, die nöthig ist, um den Eindruck dieser Farbe zu erzeugen, beläuft sich auf 699 Millionen von Millionen in der Sekunde. Die anderen Farben des Spectrums steigen allmählich, wie wir schon sagten, in ihrer Höhe von Roth zu Violett.

318. Jenseits des Violett haben wir aber Strahlen, die eine zu bedeutende Höhe besitzen, um sichtbar zu sein, und jenseits des Roth Strahlen von einer zu niedrigen Höhe, um sichtbar zu sein. Die Erscheinungen des Lichts gehen auch in dieser Beziehung mit denen des Schalls parallel. Würde nicht ein Widerspruch darin liegen, so könnten wir sagen, dass es musikalische Töne gäbe, die zu hoch seien, und Töne, die zu tief seien, um gehört zu werden. In der That giebt es Wellen, die durch die Luft von schwingenden Körpern fortgepflanzt werden und die, obgleich sie das Ohr in regelmässiger Wiederholung treffen, dennoch unfähig sind, den Eindruck eines musikalischen Tones zu erwecken. Wahrscheinlich werden Töne von Insekten gehört, die unserer Wahrnehmung ganz entgehen, und selbst unter den Menschen ist derselbe Ton für die eine Person von durchdringender Schärfe, während die andere ihn durchaus nicht hört. Unser

Gesichts- und Gehörsinn umfasst bei der Wahrnehmung von Licht und Schall nur ein gewisses Gebiet, über das hinaus unsere Nerven nach beiden Seiten, wenn die objective Ursache auch dort besteht, nicht mehr erregt werden.

319. Wenn ich daher diese rothglühende kupferne Kugel vor Sie lege und das Verschwinden ihres Lichtes beobachte, so werden Sie einen vollständig klaren Begriff von dem haben, was hier vorgeht. Die Atome der Kugel oscilliren, aber sie oscilliren in einem Medium, das ihnen Widerstand leistet, welchem sie ihre Bewegung abgeben, und das diese nach allen Seiten mit unglaublicher Schnelligkeit fortpflanzt. Die Schwingungen, die Licht hervorbringen können, sind nun erschöpft; die Kugel ist ganz schwarz, und doch schwingen ihre Atome noch und ihre Schwingungen werden von allen Seiten vom Aether aufgenommen und fortgepflanzt. Die Kugel kühlt sich ab, so wie sie an molekularer Bewegung verliert, aber keine Abkühlung, der sie möglicher Weise unterworfen werden könnte, könnte ihr ihre Bewegung vollständig rauben. Das heisst, alle Körper, ihre Temperatur mag sein, welche sie wolle, strahlen Wärme aus. Von dem Körper jedes einzelnen hier Anwesenden gehen Wellen aus, von denen einige diese sich abkühlende Kugel treffen und ihr einen Theil der verlorenen Bewegung ersetzen. Aber die Bewegung, die die Kugel so empfängt, ist weit geringer als die, die sie mittheilt, und der Unterschied zwischen beiden ist der Bewegungsverlust der Kugel. So lange dieser Zustand andauert, wird die Kugel eine stets abnehmende Temperatur zeigen: ihre Temperatur wird so lange sinken, bis die Wärmemenge, die sie abgiebt, gleich der Menge ist, die sie aufnimmt, und dann wird ihre Temperatur constant werden. So findet, wenn Sie

sich auch keiner Wärmeaufnahme bewusst sind, während Sie vor einem Körper stehen, der dieselbe Temperatur wie Sie besitzt, doch ein steter Austausch von Strahlen zwischen Ihnen statt. Jedes oberflächliche Atom jeder Masse sendet seine Wellen aus, die diejenigen kreuzen, die sich in der entgegengesetzten Richtung bewegen; jede Welle behauptet ihre eigene Individualität mitten in dem Gewirr der übrigen Wellen.

Wenn die Summe der empfangenen Bewegung grösser ist als die der abgegebenen, dann folgt daraus eine Erwärmung; wenn die Summe der abgegebenen Bewegung grösser ist, als die der empfangenen, dann tritt Abkühlung ein. Dies ist Prevost's Theorie des Wärmeaustausches, in der Sprache der Wellentheorie ausgedrückt.

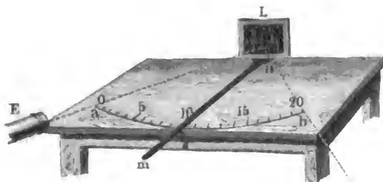
320. Wir wollen uns eine kurze Zeit damit beschäftigen, durch Experimente die Analogie zwischen Licht und strahlender Wärme zu begründen und dabei zunächst die Reflexion betrachten. Sie haben gesehen, dass, als ich die thermo-elektrische Säule dem Gesichte meines Assistenten gegenüber aufstellte, ich an ihr einen offenen Trichter befestigte, den ich bei meinen früheren Experimenten nicht benutzte. Dieser Trichter ist innen versilbert und soll dazu dienen, die Wirkung der schwachen Ausstrahlungen zu vermehren, indem er sie auf der Oberfläche der thermo-elektrischen Säule sammelt. Er thut dieses durch Reflexion; statt bei der Säule vorbeizugehen, wie es geschehen würde, wenn der Reflector fortgenommen würde, treffen die Strahlen die versilberte Oberfläche und strahlen von dort gegen die Säule. Die Vermehrung der Wirkung lässt sich auf folgende Weise zeigen. Ich stelle die Säule ohne ihren Reflector an dieses Tischende, und in einer Entfernung von 4 bis 5 Fuss stelle ich die heisse, aber nicht rothglühende kupferne Kugel auf; Sie werden

kaum eine Bewegung der Nadel des Galvanometers bemerken. Ohne etwas zu verändern, befestige ich jetzt den Reflector an der Säule; die Nadel geht augenblicklich bis auf 90° und beweist die vermehrte Wirkung.

321. Das Gesetz dieser Reflexion ist genau dasselbe wie das des Lichts. Beobachten Sie diesen scheinbar festen, leuchtenden Cylinder, der von unserer elektrischen Lampe ausgeht und seinen Weg so deutlich auf den Staub unseres verdunkelten Zimmers zeichnet. Ich nehme einen Spiegel in die Hand und lasse den Strahl auf ihn fallen; der Strahl wird vom Spiegel zurückgeworfen und trifft jetzt die Decke des Zimmers. Jener horizontale Strahl ist der einfallende Strahl, der verticale der reflectirte Strahl, und wir haben beim Licht das Gesetz, wie viele von Ihnen wissen, dass der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich ist. Der einfallende und reflectirte Strahl schliessen jetzt einen rechten Winkel ein, und wenn das der Fall ist, weiss ich, dass beide Strahlen mit einem Loth auf der Oberfläche des Spiegels einen Winkel von 45° bilden.

322. Ich stelle die Lampe an die Tischecke *E* (Fig. 78); hinter den Tisch stelle ich einen Spiegel *L* und auf dem Tische habe ich einen langen Kreisbogen *ab* gezogen, wie

Fig. 78.



Sie sehen. An dem Spiegel ist der lange Stab ***mn*** befestigt, und da der Spiegel auf einer Axe ruht, kann er durch den Stab gedreht werden, der zugleich als Zeiger dienen soll. Ich habe hier eine dunkle Mittellinie gezogen, und wenn der Spiegel genau der Mitte der Zuhörer gegenübersteht, so fällt unser Stab mit dieser Linie zusammen. Die gegenüber Sitzenden werden sehen, dass der Stab und sein Bild im Spiegel eine gerade Linie bilden, wodurch bewiesen ist, dass die dunkle Mittellinie jetzt perpendikulär auf dem Spiegel steht. Ich habe den Bogen rechts und links von dieser Mittellinie in 10 gleiche Theile getheilt, indem ich am Ende *E* mit 0° anfing und am Bogen entlang bis zu 20° aufstieg. Ich drehe zuerst den Stab so, dass er in der Linie des von der Lampe ausgehenden Strahles liegt. Der Strahl fällt nun auf den Spiegel, den er perpendikulär trifft, und Sie sehen, dass er der Linie des Einfalls entlang zurückgeworfen wird. Ich drehe meinen Stab nun auf 1, der zurückgeworfene Strahl zieht sich, wie Sie sehen, über den Tisch und schneidet Zahl 2. Ich drehe den Stab auf 2, der Strahl ist auf 4; ich drehe den Stab auf 3, und der Strahl ist auf 6; ich drehe ihn auf 5, der Strahl ist auf 10; ich drehe ihn auf 10, der Strahl ist jetzt auf 20. Wenn ich in der Mitte zwischen dem einfallenden und zurückgeworfenen Strahl stehe und meine Arme ausstrecke, so berühren meine Fingerspitzen jeden derselben. Der eine liegt ebenso weit links vom Loth wie der andere rechts; der Einfallswinkel ist gleich dem Reflexionswinkel. Wir haben aber auch bewiesen, dass sich der Strahl zweimal so schnell bewegt, als der Zeiger. Es ist also, wie man zu sagen pflegt, die Winkelgeschwindigkeit eines zurückgeworfenen Strahles die doppelte von der des Spiegels, der ihn zurückwirft.

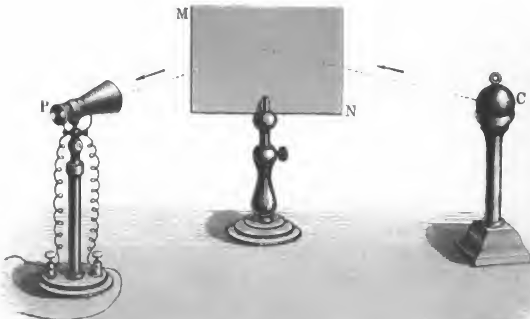
323. Ich habe Ihnen schon gezeigt, dass diese weissglühenden Kohlenspitzen eine Menge von dunkeln Strahlen ausstrahlen — Strahlen von reiner Wärme, — die keine erleuchtende Kraft besitzen. Ich will Ihnen jetzt zeigen, dass diese von der Lampe ausgesendeten Wärmestrahlen genau denselben Gesetzen folgen, wie die Lichtstrahlen. Ich habe hier ein Stück schwarzes Glas, so schwarz, dass, wenn ich nach dem elektrischen Lichte oder selbst nach der Mittagssonne durchsehe, ich nichts wahrnehme. Sie werden das Verschwinden des Strahles bemerken, wenn ich das Glas vor die Lampe stelle. Es schneidet jeden Lichtstrahl ab, aber wie seltsam es Ihnen auch erscheinen mag, so ist es doch in einem hohen Grade durchsichtig für die dunkeln Strahlen der Lampe. Ich lösche das Licht jetzt aus, indem ich den Strom unterbreche, und ich lege meine thermo-elektrische Säule auf den Tisch auf die Nummer 20, wohin der leuchtende Strahl den Augenblick vorher fiel. Die Säule ist mit dem Galvanometer verbunden und die Nadel des Instruments steht jetzt auf Null. Ich erzeuge die Flamme der Lampe von Neuem; kein Licht erscheint, aber beobachten Sie das Galvanometer; die Nadel hat sich durch die Wirkung der nichtleuchtenden Strahlen auf die Säule schon bis 90° bewegt. Verschiebe ich die Säule nach rechts oder links, so nimmt die Ablenkung der Nadel augenblicklich ab; die Wärmestrahlen folgen genau der Spur der leuchtenden Strahlen, und auch für sie ist der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich. Wiederhole ich die Experimente, die ich schon mit dem Lichte angestellt habe, indem ich den Zeiger hinter einander auf 1, 2, 3, 5 u. s. f. bringe, so beweise ich, dass auch bei der strahlenden Wärme die Winkelgeschwindig-

keit des zurückgeworfenen Strahles die doppelte von der des Spiegels ist.

324. Die Wärme des Feuers folgt demselben Gesetz. Ich habe hier eine Zinnplatte, einen einfachen Reflector, der aber meiner Absicht entsprechen wird. An dieses Ende des Tisches stelle ich die thermo-elektrische Säule und an das andere Ende meinen zinnernen Schirm. Die Nadel des Galvanometers steht jetzt auf Null. Ich drehe den Reflector, so dass die Wärme, die ihn trifft, gegen die Säule zurückstrahlen muss: jetzt trifft sie das Instrument und die Nadel zeigt sogleich ihre Ankunft an. Beobachten Sie die Stellung des Feuers, des Reflectors und der Säule; Sie sehen, dass sie gerade die Stellung einnehmen, dass der Winkel des Einfalls dem der Reflexion gleich ist.

325. Bei diesen Experimenten ist oder war die Wärme aber mit Licht verbunden. Lassen Sie mich Ihnen jetzt

Fig. 79.

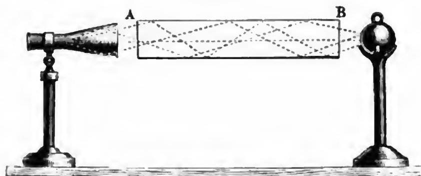


zeigen, dass das Gesetz auch richtig bleibt bei Strahlen, die von wirklich dunkeln Körpern ausströmen. Hier ist eine kupferne Kugel *C* (Fig. 79), die bis zum dunkeln Rothglühen erhitzt worden ist; ich tauche sie so lange in Wasser, bis ihr Licht vollkommen verschwindet, sie aber doch noch warm bleibt. Sie giebt noch immer strahlende Wärme ab, und zwar von etwas grösserer Intensität, als die, die der menschliche Körper ausstrahlt. Ich lege sie auf diesen Leuchter als Stützpunkt und stelle hierher meine Säule *P*, indem ich ihren konischen Reflector so von der Kugel wegkehre, dass kein directer Strahl der letzteren die Säule treffen kann. Sie sehen, die Nadel bleibt auf Null. Ich führe meinen Zinnreflector *MN* jetzt ein, so dass eine Linie, die von ihm zur Kugel gezogen wird, denselben Winkel mit einem Loth auf dem polirten Zinnreflector bildet, wie eine Linie, die von der Säule zu ihm gezogen worden ist. Die Axe des konischen Reflectors liegt in der letztern Linie. Dem Gesetze entsprechend prallen die Wärmestrahlen der Kugel von ihm ab und treffen die Säule; Sie sehen die darauf folgende schnelle Bewegung der Nadel.

326. Gleich den Lichtstrahlen gehen die Wärmestrahlen, die von unserer Kugel ausströmen, in geraden Linien durch den Raum, und nehmen dabei nach demselben Gesetz an Intensität ab wie das Licht. So zeigt diese Kugel, die dicht an der Säule die Nadel des Galvanometers auf 90° trieb, bei einer Entfernung von 4 Fuss 6 Zoll kaum eine merkliche Wirkung. Ihre Strahlen werden nach allen Seiten verstreut und nur sehr wenige von ihnen erreichen die Säule. Jetzt führe ich aber zwischen die Säule und die Kugel dieses Zinnrohr *AB* (Fig. 80 a. f. S.) von 4 Fuss Länge ein. Es ist innen polirt, also für Reflexion geeignet. Die Wärmestrahlen, die die innere Oberfläche

des Rohres in schräger Richtung treffen, werden von einer Seite des Rohres zur anderen zurückgeworfen, und

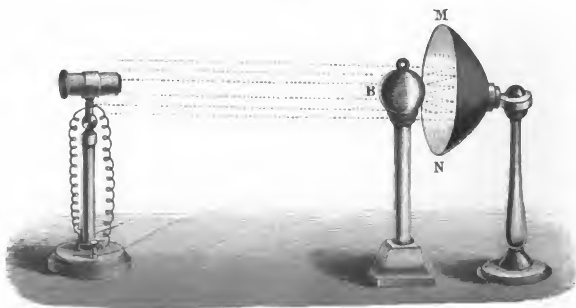
Fig. 80.



so werden diese Strahlen, die, wenn das Rohr fehlte, im Raum zerstreut würden, durch innere Reflexion genöthigt, die Säule zu erreichen. Sie sehen den Erfolg: die Nadel, welche einen Augenblick vorher keine merkliche Wirkung zeigte, bewegt sich schnell bis zu ihren Hemmungen.

327. Wir haben uns nun lange genug bei der Reflexion der strahlenden Wärme von ebenen Oberflächen aufgehalten; wir wollen uns für einen Augenblick zur Reflexion

Fig. 81.



von gekrümmten Oberflächen wenden. Hier ist ein Hohlspiegel *MN* (Fig. 81) von versilbertem Kupfer. Ich stelle jetzt diese warme kupferne Kugel *B* in einer Entfernung von 18 Zoll von der Säule auf, von der ich den konischen Reflector fortgenommen habe; Sie bemerken kaum eine Bewegung der Nadel. Wenn der Reflector *MN* in geeigneter Stellung hinter eine Kerze gestellt würde, so würden ihre Strahlen gesammelt und in einem Cylinder von Licht zurückgeworfen werden. So will ich jetzt die Wärmestrahlen, die von der Kugel *B* abgegeben werden, sammeln und zurückwerfen; Sie können natürlich die Spur dieser dunkeln Strahlen nicht sehen, wie Sie die der leuchtenden sahen; aber Sie bemerken, dass, während ich spreche, das Galvanometer ihre Wirkung gezeigt hat; die Nadel des Instruments ist auf 90° gegangen.

328. Ich habe hier ein Paar weit grösserer Spiegel, von denen der eine flach auf dem Tische liegt; die Krümmung dieses Spiegels ist so geformt worden, dass, wenn ein Licht an einen bestimmten Punkt gebracht wird, der der Brennpunkt des Spiegels genannt wird, die Strahlen, die divergirend auf den Spiegel fallen, parallel von ihm aufwärts zurückgeworfen werden. Wir wollen diesen Versuch machen: ich bringe unsere Kohlenspitzen in diesen Brennpunkt, bringe sie in Berührung und ziehe sie dann etwas von einander; Sie sehen das elektrische Licht und einen glänzenden verticalen Cylinder, der vom Reflector aufwärts geworfen wird und sich durch die Wirkung des Lichts auf dem Staub des Zimmers abzeichnet. Würden wir das Experiment umkehren und ein paralleles Lichtbündel auf den Spiegel fallen lassen, so würden die Strahlen dieses Bündels nach der Zurückwerfung im Brennpunkt des Spiegels gesammelt werden. Wir können dieses Experiment durch Hinzunahme eines zweiten Spiegels

machen; hier ist er an der Decke aufgehängt. Ich will ihn jetzt zu einer Höhe von 20 bis 25 Fuss über dem Tisch hinaufziehen; der verticale Strahl, welcher vorher auf die Decke fiel, wird nun von dem oberen Spiegel aufgefangen; ich habe in den Brennpunkt des oberen Spiegels ein Stückchen geölten Papiers aufgehängt, damit Sie die Ansammlung der Strahlen im Brennpunkte sehen können. Sie beobachten, wie lebhaft dies Stückchen Papier jetzt beleuchtet ist, nicht durch das directe Licht von unten, sondern durch das reflectirte Licht, welches sich durch den oberen Spiegel auf ihm sammelt.

329. Viele unter Ihnen kennen den ausserordentlichen Einfluss des Lichts auf eine Mischung von Wasserstoff und Chlor. Ich habe hier einen durchsichtigen Collodiumballon mit dem Gasgemisch angefüllt; ich lasse meinen oberen Reflector herunter und hänge den Ballon an einem an ihm befestigten Haken auf, so dass er in dem Brennpunkte schwebt; wir wollen den Spiegel jetzt wieder ganz bis zur Decke hinaufziehen (Fig. 82) und ich bringe, wie vorher, meine Kohlenspitzen in den Brennpunkt des unteren Spiegels; in dem Augenblicke, wo ich sie von einander trenne, strömt das Licht aus und die Gase explodiren. Beachten Sie wohl, dass dies die Wirkung des Lichtes ist; Sie wissen, dass das Collodium eine brennbare Substanz ist, und daraus könnten Sie schliessen, dass es die Wärme der Kohlenspitzen sei, die es entzündete, worauf es seine Verbrennung den Gasen mittheilte; aber sehen Sie hier! während ich spreche, fallen die einzelnen Stücke des Ballons auf den Tisch; wirkungslos gingen die leuchtenden Strahlen durch ihn hindurch, brachten die Gase zur Explosion und die Chlorwasserstoffsäure, die sich durch ihre Verbrennung bildete, bewahrte die brennbare Umhüllung vor dem gleichen Schicksal.

Fig. 82.



330. Ich lasse den Spiegel wieder herunter und hänge einen zweiten Ballon in seinen Brennpunkt, der eine Mischung von Wasserstoff und Sauerstoff enthält, auf die das Licht keine bemerkbare Wirkung ausübt; ich ziehe den Spiegel in die Höhe und lege in den Brennpunkt des unteren diese rothglühende kupferne Kugel. Die Wärmestrahlen werden nun oben zurückgeworfen und gesammelt, wie beim vorigen Experiment die leuchtenden Strahlen; aber sie wirken auf die Umhüllung, die ich mit Absicht ein wenig geschwärzt habe, damit sie die Wärmestrahlen auffangen kann; die Wirkung ist nicht so plötzlich wie vorher; aber jetzt findet die Explosion statt und Sie sehen keine Spur von

dem Ballon mehr; die brennbare Substanz ist vollständig zerstört.

331. Sie könnten hier einwenden, dass das Licht mit der Wärme verbunden sei; ich lasse den oberen Spiegel wieder herunter und hänge in seinem Brennpunkt eine mit heissem Wasser gefüllte Flasche auf. Ich bringe meine thermo-elektrische Säule in den Brennpunkt des unteren Spiegels und kehre zuerst die Oberfläche der Säule aufwärts, um sie so der directen Ausstrahlung der warmen Flasche auszusetzen; es wird keine bemerkbare Wirkung durch die directen Strahlen hervorgerufen. Jetzt stelle ich meine Säule mit der Oberfläche abwärts. Wenn Licht und Wärme gleich wirken, so müssen die Strahlen der Flasche, die den Reflector treffen, in seinem Brennpunkt gesammelt werden. Sie sehen, dass dies der Fall ist; die Nadel, die von den directen Strahlen nicht merklich bewegt wurde, schlägt bis zu ihren Hemmungen aus. Ich bitte Sie, die Richtung dieser Abweichung zu beobachten; das rothe Ende der Nadel bewegt sich zu Ihnen hin.

332. Ich lasse den Spiegel wieder herunter und statt der Flasche mit heissem Wasser hänge ich eine zweite an, die eine Kältemischung enthält. Ich ziehe den Spiegel hinauf und bringe, wie vorher, meine Säule in den Brennpunkt des unteren Spiegels. Wird sie direct zur oberen Flasche gewendet, so zeigt sich keine Wirkung; wird sie abwärts gekehrt, so bewegt sich die Nadel: beobachten Sie die Richtung der Bewegung, das rothe Ende neigt sich mir zu.

333. Scheint es nun nicht, als ob dieser Körper in dem oberen Brennpunkte Kältestrahlen ausströmt, die in dem unteren Spiegel gesammelt werden, gerade wie die Wärmestrahlen bei unserem vorigen Experimente? Die Thatsachen sind genau einander entsprechend und es scheint, als ob wir dasselbe Recht hätten, aus dem Ex-

periment auf die Existenz und Ansammlung von Kältestrahlen zu schliessen, wie vorher auf die Existenz und Ansammlung von Wärmestrahlen. Aber viele unter Ihnen werden schon den richtigen Sachverhalt erfasst haben. Die Säule ist ein warmer Körper; bei dem letzten Experimente aber wurde die Wärmemenge, die sie durch Ausstrahlung verlor, durch die Menge, die sie von der oberen heissen Flasche aufnahm, mehr als ausgeglichen. Jetzt ist der Fall umgekehrt, die Wärmemenge, die die Säule ausstrahlt, ist überwiegend gegen die Menge, die sie erhält, und dadurch wird die Säule erkältet; der Austausch ist für sie ungünstig, ihr Wärmeverlust wird nur zum Theil ersetzt, und die der Erkältung entsprechende Abweichung ist die nothwendige Folge.

Anhang zum achten Kapitel.

Ueber die Töne, die durch die Verbrennung von Gasen in Röhren hervorgerufen werden*).

Es wird im ersten Bande von Nicholson's Journal vom Jahre 1802 angegeben, dass die Töne, welche durch Verbrennung von Wasserstoff in Röhren entstehen, zuerst in Italien hervorgebracht wurden. Dr. Higgins zeigt an derselben Stelle, dass er sie im Jahre 1777 entdeckt habe, als er die Bildung von Wasser in einem Glasgefäss bei der langsamen Verbrennung eines dünnen Stromes von Wasserstoff beobachtete. Chladni, in seiner „Akustik“ 1802, S. 74, spricht davon, dass sie von de Luc in seinen „Neuen Ideen über Meteorologie“ erwähnt und unvollkommen erklärt worden seien. Ich weiss nicht die Jahreszahl des Bandes. Chladni selbst zeigte, dass die erzeugten Töne identisch seien mit denen einer offenen Pfeife von derselben Länge wie die Röhre, welche die Flamme einschliesst. Es gelang ihm auch, einen Ton und dessen Octave aus derselben Röhre zu erhalten, und in einem Falle erhielt er die Quinte der Octave. In einem Aufsatz im „Journal de Physique“, 1802, bemüht sich G. de la Rive, die Entstehung der Töne zu erklären, indem er sie auf die abwechselnde Zusammenziehung und Ausdehnung des Wasserdampfes zurückführt; er stützte seine Ansicht auf eine Reihe

*) Aus dem Philosophical Magazine für Juli 1857. Von John Tyndall, F. R. S.

von sehr schönen und geistreichen Versuchen, die er mit Thermometerkugeln gemacht hatte. Herr Faraday nahm 1818 den Gegenstand auf*) und zeigte, dass die Töne hervorgebracht würden, wenn die Glasröhre von einer Atmosphäre eingehüllt sei, die eine höhere Temperatur als 100° C. habe. Dass sie nicht dem Wasserdampf zuzuschreiben seien, wurde ferner durch die Thatsache bewiesen, dass sie durch die Verbrennung von Kohlenoxyd hervorgebracht werden konnten. Er führte die Töne auf aufeinander folgende Explosionen zurück, die durch die periodische Verbindung des atmosphärischen Sauerstoffs mit dem ausströmenden Strahl von Wasserstoff bewirkt würden.

Es ist mir nicht bekannt, dass bisher die Abhängigkeit der Höhe des Tons von der Grösse der Flamme bemerkt worden ist. Auf diesen Punkt will ich zuerst die Aufmerksamkeit lenken.

Eine Röhre von 25 Zoll Länge wurde über einen entzündeten Strahl von Wasserstoff gestülpt; der hervorgebrachte Ton war der Grundton der Röhre.

Eine Röhre von 12½ Zoll Länge wurde über dieselbe Flamme gebracht; aber sie gab keinen Ton von sich.

Die Flamme wurde so klein als möglich gemacht, und die zuletzt erwähnte Röhre darüber gestülpt; sie gab einen klaren, melodischen Ton, die Octave des mit der 25zölligen Röhre erhaltenen.

Die 25zöllige Röhre wurde nun über dieselbe Flamme gebracht; sie gab jetzt nicht mehr ihren Grundton an, sondern genau denselben Ton, wie die halb so lange Röhre.

So sehen wir, dass wenn auch die Geschwindigkeit, mit der die Explosionen auf einander folgen, von der Länge der Röhre abhängt, die Flamme auch etwas dabei zu sagen hat: dass, um einen musikalischen Ton hervorzubringen, ihre Länge derart sein muss, dass sie entweder im Einklang mit den Schwingungen der Röhre als Ganzes, oder mit den Schwingungen ihrer harmonischen Theile explodiren kann.

Mit einer Röhre von 6′ 9″ Länge habe ich, indem ich

*) Journal of Science and the Arts vol. V, p. 274.

die Grösse der Flamme wechselte und sie bis zu verschiedener Tiefe in die Röhre einsenkte, eine Reihe von Tönen erhalten, deren Schwingungszahlen im Verhältniss von 1, 2, 3, 4, 5 standen.

Diese Versuche erklären die capriciöse Natur der Töne, die bisweilen bei Vorträgen hierüber erhalten worden sind. Es ist jedoch immer möglich, die Töne klar und weich zu machen, wenn man die Grösse der Flamme richtig zu der Länge der Röhre einstellt *).

Seit den Versuchen von Herrn Faraday ist meines Wissens erst in der allerneuesten Zeit wieder etwas über diesen Gegenstand veröffentlicht worden. In einer der letzten Nummern von Poggendorff's Annalen ist ein interessanter Versuch von Herrn v. Schaffgotsch beschrieben und zum Gegenstand einiger Bemerkungen von Herrn Professor Poggendorff selbst gemacht worden. Ein musikalischer Ton war durch einen Strahl gewöhnlichen Leuchtgases erhalten worden, und man hatte gefunden, dass wenn man mit der Stimme denselben Ton anschlug, die Flamme eine lebhafte Bewegung annahm, die so weit gesteigert werden konnte, dass die Flamme erlosch.

Herr v. Schaffgotsch beschreibt die zum Gelingen seines Versuches nöthigen Bedingungen nicht; und ich kam eben auf die Thatsachen, die den hauptsächlichen Gegenstand dieses kurzen Aufsatzes ausmachen, indem ich mich bemühte, diese Bedingungen zu finden. Ich will bemerken, dass man das Resultat des Herrn v. Schaffgotsch mit Sicherheit erhält, wenn man das Gas unter genügendem Drucke durch eine sehr kleine Oeffnung ausströmen lässt.

Zu den ersten Versuchen benutzte ich einen spitz zulaufenden messingenen Brenner von $10^1/_2$ Zoll Länge, der eine obere Oeffnung von ungefähr $^1/_{20}$ Zoll im Durchmesser hatte. Das Schwanken der singenden Flamme in der Gasröhre war bei genügender Höhe der Stimme so deutlich, dass es von mehreren hundert Personen auf einmal gesehen wurde.

*) Mit einer Röhre von $14^1/_2$ Zoll Länge und einem sehr kleinen Gasstrahl erhielt ich, ohne die Gasmenge zu ändern, einen Ton und seine Octave; die Flamme vermochte ihre eigenen Dimensionen zu ändern, um für beide Töne zu passen.

Ich stellte eine Sirene einige Fuss von der singenden Flamme auf und erhöhte allmählich den vom Instrumente hervorgebrachten Ton. Als sich die Töne der Flamme und der Sirene dem vollkommenen Einklange näherten, zitterte die Flamme, indem sie in der Röhre auf- und absprang. Die Intervalle zwischen den Sprüngen wurden grösser, bis der Einklang vollkommen war, dann hörte die Bewegung für einen Augenblick auf; als der Ton der Sirene noch an Höhe zunahm, erschien die Bewegung der Flamme von Neuem, das Springen wurde schneller und schneller, bis man es zuletzt nicht mehr unterscheiden konnte.

Dieser Versuch zeigt, dass das von Herrn v. Schaffgotsch beobachtete Springen der Flamme der optische Ausdruck der Stösse ist, welche zu beiden Seiten des vollkommenen Einklangs auftreten; die Stösse konnten in genauer Uebereinstimmung mit dem Kürzer- und Längerwerden der Flamme gehört werden. Jenseits der Region dieser Stösse nach beiden Richtungen hin rief der Klang der Sirene keine sichtbare Bewegung der Flamme hervor. Was für die Sirene richtig ist, ist auch richtig für die menschliche Stimme. Während ich diese Versuche wiederholte und abänderte, hatte ich einmal eine stumme Flamme in einer Röhre, und als ich meine Stimme zu dem Tone der Röhre erhob, fing die Flamme zu meiner grossen Ueberraschung auf einmal an zu singen. Als ich den Finger auf das Ende der Röhre legte und das Tönen zum Schweigen brachte, erhielt ich bei der Wiederholung des Versuches dasselbe Resultat.

Ich stellte die Sirene neben die Flamme wie zuvor. Die letztere brannte ruhig in ihrer Röhre. Als ich allmählich von den tiefsten Tönen des Instruments aufstieg, streckte sich die Gasflamme plötzlich in dem Augenblicke, als der Ton der Sirene die Tonhöhe der die Gasflamme umgebenden Röhre erreichte, und begann ihren Gesang, der auch noch fortdauerte, nachdem die Sirene aufgehört hatte zu tönen.

Mit dem Brenner, den ich beschrieben habe, und einer 12 Zoll langen Glasröhre, die $^1/_2$ bis $^3/_4$ Zoll inneren Durchmesser hat, kann dieses Resultat mit Leichtigkeit und Sicherheit erreicht werden. Wenn die Stimme etwas höher oder

tiefer ist als der Ton, der der Röhre zukommt, so wird kein sichtbarer Eindruck auf die Flamme hervorgebracht: die Höhe der Stimme muss in der Region der hörbaren Stösse liegen.

Wenn wir die Länge des Rohres verändern, verändern wir auch den hervorgebrachten Ton, und die Stimme muss danach modificirt werden.

Dass das Zittern der Flamme, von dem ich schon sprach, in genauem Einklange mit den Stössen vor sich geht, kann man sehr gut durch eine Stimmgabel zeigen, die denselben Ton wie die Flamme angiebt. Belastet man die Gabel so, dass sie ein wenig aus dem Einklang mit der Flamme gebracht wird, schlägt sie an und bringt sie in die Nähe der Flamme, so sieht man die Sprünge genau in denselben Intervallen, in denen man die Stösse hört. Wenn die Stimmgabel über einen mittönenden Krug oder eine Flasche gebracht wird, so können die Stösse von tausend Menschen auf einmal gehört und die Sprünge gesehen werden. Indem man die Belastung der Stimmgabel wechselt oder indem man ein wenig die Grösse der Flamme ändert, kann man die Geschwindigkeit ändern, mit der die Stösse einander folgen, aber in allen Fällen treffen die Sprünge das Auge in demselben Moment, wie die Stösse das Ohr.

Mit der Stimmgabel habe ich dieselben Erfolge gehabt, wie mit der menschlichen Stimme und der Sirene. Halte ich eine schwingende Gabel über eine Röhre, die ihr entspricht und die eine stumme Gasflamme enthält, so beginnt die letztere augenblicklich zu tönen. Ich habe diesen Erfolg mit einer Reihe von Röhren erzielt, deren Länge von $10\frac{1}{2}$ bis 29 Zoll variirte. Man könnte folgenden Versuch machen: Eine Reihe von Röhren, die im Stande sind, die Töne der Tonleiter hervorzubringen, könnten über geeignete Gasflammen gestellt werden; alles ist still, die Tonleiter wird von einem Musiker auf einem hinlänglich lauten Instrument gespielt, in einer Entfernung von 20 bis 30 Ellen. Bei dem Klang jedes besondern Tones beginnt die Gasflamme in der entsprechenden Röhre augenblicklich zu tönen.

Ich muss indess bemerken, dass mit der Flamme, die ich benutzt habe, der Versuch leicht mit einer Röhre von 11 bis 12 Zoll Länge gemacht werden kann; mit längeren Röhren ist es schwerer die Flamme zu verhindern, von selbst, d. h. ohne äussere Anregung, zu singen.

Der Hauptpunkt, auf den man achten muss, ist der folgende. Bei einer Röhre von 12 Zoll Länge verlangt die Flamme eine bestimmte Stellung in der Röhre, damit sie mit der grössten Intensität tönen kann. Wir wollen die Röhre heben, damit die Flamme bis auf eine geringere Höhe hineindringt; die Stärke des Tones wird dadurch vermindert und ein Punkt (*a*) wird zuletzt erreicht, wo er ganz aufhört. Ueber diesen Punkt bis zu einer gewissen Entfernung hinaus kann man die Flamme ruhig und still, beliebig lange brennen lassen, aber sie wird tönen, wenn sie durch die Stimme erregt wird.

Wenn die Flamme dem Punkte (*a*) zu nahe ist, wird sie, wenn sie durch die Stimme oder durch eine Stimmgabel erregt wird, eine kurze Zeit lang antworten und dann schweigen. Ein wenig über diesen Punkt hinaus, wo das Tönen aufhört, brennt die Flamme ruhig, wenn sie nicht erregt wird; hat man sie aber einmal zum Tönen gebracht, so wird sie fortfahren. Mit einer solchen Flamme, die für äussere Eindrücke nicht zu empfindlich ist, war ich im Stande, die bisher beschriebene Wirkung umzukehren und das Tönen nach meinem Belieben verstummen zu machen, sei es durch den Ton meiner Stimme oder durch eine Stimmgabel, ohne die Flamme selbst auszulöschen. Ich fand, dass eine solche Flamme dem Befehle gehorsam gemacht werden konnte, und tönte oder aufhörte zu tönen je nach dem Belieben des Experimentators.

Das einfache Zusammenschlagen der Hände, das Hervorbringen einer Explosion, das Schreien in einer nicht entsprechenden Tonhöhe, das Schütteln der Röhre, die die Flamme umgiebt, sind erfolglos, wenn die Einrichtungen recht gemacht worden sind. Jede dieser Störungsarten berührt zweifellos die Flamme, aber die Impulse summiren sich nicht, wie wenn der Ton des Rohres selbst getroffen wird. Es scheint, als ob die Flamme gegen einen einzelnen Impuls taub sei, wie es das Trommelfell wahrscheinlich sein würde, und dass, wie bei

letzterem, die Impulse sich summiren müssen, um ihr eine genügende Bewegung zu ertheilen. Der Unterschied eines halben Tones zwischen zwei Stimmgabeln genügt, damit die eine die Flamme zum Tönen bringe, während die andere unfähig ist, diese Wirkung hervorzurufen.

Ich habe gesagt, dass die Stimme bis zur Tonhöhe der die Flamme umgebenden Röhre erhoben werden muss; richtiger wäre es zu sagen, des Tones, den die Flamme hervorbringt, während sie tönt. In allen Fällen ist dieser Ton bedeutend höher, als der der offenen Röhre, die die Flamme umgiebt; dies muss der Fall sein wegen der höheren Temperatur der schwingenden Luftsäule. Eine offene Röhre z. B., welche den Ton einer über ihr Ende gehaltenen Stimmgabel am meisten verstärkt, bringt, wenn sie eine tönende Flamme umgiebt, einen höheren Ton hervor, als den der Stimmgabel. Um den letzteren Ton zu erhalten, muss die Röhre bedeutend länger sein.

Welches ist nun die Beschaffenheit der Gasflamme, während sie die musikalischen Töne hervorbringt? Dies ist die nächste Frage, auf die ich für eine kurze Zeit die Aufmerksamkeit lenken will. Mit dem blossen Auge gesehen, scheint die tönende Flamme unveränderlich zu sein; aber ist sie wirklich unveränderlich? Wenn wir voraussetzen, dass jeder Impuls von einer physikalischen Veränderung der Flamme begleitet sei, so würde eine solche Veränderung dem blossen Auge unsichtbar sein, da die Schnelligkeit, mit der die Impulse einander folgen, zu gross ist. Das Licht der Flamme würde aus demselben Grunde continuirlich erscheinen, wie der zerfallende Theil eines Wasserstrahles zusammenhängend erscheint, obgleich man durch die geeigneten Mittel beweisen kann, dass dieser Theil des Strahles aus vereinzelten Tropfen besteht. Wenn wir das Bild der Flamme schnell über verschiedene Theile der Retina gehen lassen, so werden sich die Veränderungen, die die periodischen Impulse begleiten, in dem Charakter des so gezeichneten Bildes offenbaren.

Ich nahm eine Glasröhre von 3 Fuss 2 Zoll Länge und von ungefähr $1^1/_2$ Zoll innerem Durchmesser, und als ich sie über eine kleine Flamme von ölbildendem Gas (gewöhnliches

Gas thut es auch) hielt, bekam ich den Grundton der Röhre; als ich den Kopf hin und her bewegte, wurde das Bild der tönenden Flamme in eine Reihe von verschiedenen Bildern zerlegt; die Entfernung zwischen den Bildern hing von der Schnelligkeit ab, mit der der Kopf bewegt wurde. Dieser Versuch passt für einen verdunkelten Vorlesungsraum. Es war noch leichter, die Trennung der Bilder auf diese Art zu erhalten, wenn eine Röhre von 6 Fuss 9 Zoll Länge und eine grössere Flamme angewendet wurde.

Dasselbe Resultat wird erreicht, wenn ein Operngucker vor dem Auge hin und her bewegt wird. Die bequemste Art, die Flamme zu beobachten, ist indess mittelst eines Spiegels; und sie kann entweder direct in dem Spiegel oder durch Projection auf einem Schirm gesehen werden.

Eine Linse von 33 Centimeter Brennweite wurde vor einer, etwa 1 Zoll langen Flamme von gewöhnlichem Leuchtgase aufgestellt, und ein Papierschirm in einer Entfernung von 6 bis 8 Fuss hinter der Flamme aufgehängt. Vor die Linse wurde ein kleiner Spiegel gehalten, der das durch die Linse gegangene Licht auffing und es auf den Schirm hinter der letzteren zurückwarf. Wenn die Linse richtig eingestellt war, so erhielt man auf dem Schirm ein scharfes, umgekehrtes Bild der Flamme. Wurde der Spiegel bewegt, so wurde das Bild verschoben, und in Folge der Dauer des Eindrucks auf die Retina beschrieb das Bild einen ununterbrochenen glänzenden Strich, wenn die Bewegung schnell genug war. Der Spiegel wurde bewegungslos gehalten und die 6 Fuss 9 Zoll lange Röhre über die Flamme gestellt; die letztere veränderte ihre Form in dem Augenblicke, wo sie anfing zu tönen, blieb aber scharf begrenzt auf dem Schirme. Jetzt zeigte sich beim Bewegen des Spiegels eine ganz andere Wirkung: anstatt eines ununterbrochenen Lichtstreifens beobachtete man eine Reihe von verschiedenen Bildern der tönenden Flamme. Die Entfernung dieser Bilder von einander wechselte mit der Bewegung des Spiegels, und man konnte natürlich, wenn der Reflector entsprechend gedreht wurde, einen Ring von Bildern bilden. Der Versuch ist schön und

kann in einem dunkeln Zimmer einem grossen Publicum sichtbar gemacht werden.

Der Versuch wurde auch in folgender Weise abgeändert: Die Seiten eines dreiseitigen Prismas von Holz wurden mit rechteckigen Stücken von Spiegelglas bedeckt, es wurde an einem Faden aufgehängt, so dass seine Axe vertical war; der Faden wurde gedrillt und das Prisma begann sich in Folge dessen zu drehen. Es war so aufgehängt, dass seine drei Seiten nach einander die Lichtstrahlen empfingen, die von der Flamme durch die vor ihm befindliche Linse gingen, und es warf dann die Bilder auf den Schirm. Beim Beginn der Bewegung waren die Bilder nur wenig getrennt, sie wurden es aber immer mehr, je mehr die Geschwindigkeit sich ihrem Maximum näherte. Als dieses überschritten war, zogen sich die Bilder wieder enger zusammen, bis sie in einer Art von leuchtender Kräuselung aufhörten. Liess man den Faden sich aufdrehen, so konnte man dieselbe Reihe von Wirkungen erhalten, nur in der entgegengesetzten Richtung. Bei diesen Versuchen war die Hälfte der Röhre, die dem Schirm zugewendet war, mit Lampenruss bedeckt, so dass das directe Licht der Gasflamme den Schirm nicht treffen konnte *).

Was ist aber der Zustand der Flamme in der Zwischenzeit zwischen zwei Bildern? Die Flamme des gewöhnlichen Gases oder des ölbildenden Gases, verdankt ihre Helligkeit den festen Kohlentheilchen, die in ihr glühen. Blasen wir gegen eine leuchtende Gasflamme, so hört man einen Ton, in der That eine kleine Explosion, und durch solch einen Stoss kann das Licht zum Verschwinden gebracht werden. In einer

*) Seitdem diese Versuche gemacht wurden, hat Herr Wheatstone mich auf folgende Stelle aufmerksam gemacht, die beweist, dass er schon früher den rotirenden Spiegel benutzt hatte, um eine tönende Flamme zu beobachten: Eine Flamme von Wasserstoffgas, die in der freien Luft brennt, zeigt einen ununterbrochenen Kreis im Spiegel; wenn sie aber einen Ton in einer Glasröhre erzeugt, beobachtet man regelmässige Unterbrechungen der Intensität, die eine kettenartige Erscheinung darbieten und abwechselnde Zusammenziehungen und Ausdehnungen der Flamme anzeigen, die den tönenden Schwingungen der Luftsäule entsprechen (Phil. Trans. 1834. p. 576).

stürmischen Nacht werden die dem Winde ausgesetzten Gasflammen in den Läden oft verdunkelt und brennen blau. In gleicher Weise kann das gewöhnliche Löthrohr das brennende Kohlengas seines glänzenden Lichtes berauben. Ich schloss daraus, dass während des Auftretens jeder einzelnen Explosion, deren Wiederholung den musikalischen Ton erzeugte, die Verbrennung so vollständig wurde, dass alle Theilchen von fester Kohle in der Flamme verzehrt wurden; ich glaubte aber, dass die Bilder auf dem Schirme bei genauerer Untersuchung sich durch Zwischenräume von Blau vereinigt zeigen würden, die wegen ihrer Dunkelheit nicht bei der Projection auf einen Schirm gesehen werden könnten. Ich fand, dass dies in vielen Fällen richtig war.

Ich war indess nicht auf die folgende Wirkung vorbereitet. Ich verschaffte mir eine möglichst kleine Flamme von ölbildendem Gase. Die 3 Fuss 2 Zoll lange Röhre wurde darüber gestellt; die Flamme verlängerte sich beim Tönen und verlor einen Theil ihres Lichtes, doch blieb sie glänzend bis zur Spitze; durch den bewegten Spiegel gesehen, zeigte sich eine Linie wie eine Perlenschnur von grosser Schönheit; vor jeder Perle war ein kleiner, leuchtender Stern, hinter demselben und mit ihm zusammenhängend ein Punkt von schönem, blauem Lichte, der, so weit ich beurtheilen konnte, einen vollkommen dunkeln Raum begrenzte, welcher hinter ihm und dem folgenden leuchtenden Stern lag. Ich will diese Erscheinung genauer untersuchen, wenn ich Zeit dazu finde; doch so weit, als ich es bis jetzt beurtheilen kann, wurde die Flamme wirklich in Uebereinstimmung mit den tönenden Impulsen ausgelöscht und wieder angezündet.

Ich kenne keinen schöneren Versuch, wenn eine stumme Flamme, die aber auf die schon beschriebene Weise durch die Stimme erregt werden kann, in eine Glasröhre gestellt wird, und die durch sie hervorgerufene ununterbrochene Lichtlinie im bewegten Spiegel beobachtet wird, und diese Linie sich in eine Schnur von hellglänzenden Perlen in dem Augenblicke auflöst, wo die Stimme bis zum richtigen Ton erhoben worden ist. Bei diesem Versuch kann man sich in ziemlicher Entfernung vom Strahl aufstellen und ihm den Rücken zukehren.

Es ist auch sehr interessant, die Veränderung zu beobachten, welche die Reihe von Perlen erfährt, wenn eine Stimmgabel, die Stösse mit der Flamme geben kann, über die Röhre oder über einen tönenden Krug neben ihr gehalten wird. Ich will jetzt in keine genauere Beschreibung dieser Resultate eingehen. Ich denke, ich habe genug gesagt, um Experimentatoren zu veranlassen, diese Wirkungen selbst hervorzubringen; der Anblick derselben wird ihnen mehr Freude machen als meine Beschreibungen es je thun könnten.

Abhandlung über akustische Versuche

von

Graf Schaffgotsch*).

Ein an beiden Enden offenes Glasrohr giebt beim einfachen Anblasen mit dem Munde schwach aber deutlich seinen Grundton, d. h. den ihm als offener Orgelpfeife zukommenden tiefsten Ton. Beim Aufschlagen der flachen Hand auf eine der Mündungen und raschen Zurückziehen giebt das Rohr zwei Töne nach einander, zuerst den Grundton der gedeckten, darauf den schon erwähnten eine Octave höheren der offenen Pfeife. Durch Erwärmung werden diese Grundtöne, von denen hier nur der höhere in Betracht kommen soll, bekanntlich erhöht, wie man beim Anblasen eines von aussen her oder durch eine im Inneren brennende Gasflamme erhitzten Rohres sogleich bemerkt. Es giebt z. B. ein 242 Millimeter langes und 20 Mm. weites Rohr, seiner ganzen Länge nach erhitzt, beim Anblasen noch vor Eintritt der Rothgluth einen um eine grosse Terz erhöhten Ton, nämlich zweigestrichen *gis* statt

---

*) Poggendorff's Annalen Bd. 101, S. 471, Abschnitt 1.

zweigestrichen *e*. Brennt eine Gasflamme von 14 Mm. Länge und 1 Mm. unterer Breite im Rohr, so steigt sein Ton auf zweigestrichen *fis*. Dieselbe Gasflamme erhöht den Ton eines 273 Mm. langen und 21 Mm. weiten Glasrohres vom zweigestrichenen *d* auf zweigestrichenes *e*.

Diese beiden Rohre, hinfort kurz als *e*-Rohr und *d*-Rohr bezeichnet, haben zu allen folgenden Versuchen gedient, welche Versuche keinen anderen Zweck hatten, als eine bekannte und nichts weniger als auffallende Thatsache in auffallender Weise zu veranschaulichen, nämlich die Thatsache, dass die Luftsäule eines Rohres in Schwingungen geräth, wenn ausserhalb des Rohres sein Grundton oder ein nahe verwandter Ton, z. B. eine Octave, angestimmt wird. Das Vorhandensein der Luftschwingungen wurde durch eine Rauchsäule, durch einen Gasstrom und eine Gasflämme erkennbar gemacht.

1. Ein glimmendes Räucherkerzchen steht dicht unter dem senkrecht gehaltenen *e*-Rohr und der Rauch zieht als gleichförmiger Faden durch das Rohr hindurch. Es wird 1,5 Meter davon entfernt eingestrichenes *e* gesungen. Der Rauch kräuselt sich und es sieht so aus, als würde ein Theil desselben zur oberen, der andere zur unteren Oeffnung des Rohres hinausgeschleudert.

2. Zwei Gasbrenner, 1 Mm. im Lichten, sind nahe bei einander auf demselben Leitungsrohr angebracht. Aus beiden strömt Leuchtgas; der eine ragt von unten ungefähr bis zum fünften Theil der Länge des *d*-Rohres in dieses hinein, auf dem anderen brennt ein Gasflämmchen von 3 Mm. Höhe. 1,5 Meter davon wird eingestrichenes *d* gesungen; das Flämmchen nimmt augenblicklich an Dicke und Höhe, folglich überhaupt an Umfang um das Vielfache zu, es strömt also aus dem äusseren Brenner vorübergehend eine grössere Gasmenge, was sich nur aus einer Hemmung des Gasstromes im Inneren, d. h. in dem vom Glasrohr umschlossenen Brenner erklären lässt.

3. Eine Brennerspitze, 1 Mm. im Lichten, ragt in das *d*-Rohr etwa 80 Mm. weit von unten hinein und trägt eine 14 Mm. lange Gasflamme. 5,6 Meter davon wird eingestrichenes *e* gesungen; die Flamme verlischt augenblicklich. Dasselbe

geschieht auf eine Entfernung von 7 Metern, wenn die Flamme nur 10 Mm. hoch ist und eingestrichenes *dis* gesungen wird.

4. In der Nähe löscht auch der Ton *gis* die letztgedachte Flamme aus. Geräusche, wie Händeklatschen, Rücken eines Stuhles, Zuklappen eines Buches haben diese Wirkung nicht.

5. Eine Brennerspitze, 0,5 Mm. im Lichten, ragt 60 Mm. weit von unten in das *d*-Rohr hinein und trägt ein kugelförmiges Gasflämmchen von 3 Mm. bis 3,5 Mm. Durchmesser. Durch allmähliches Schliessen eines Hahnes wird die Gaszufuhr mehr und mehr beschränkt. Die Flamme wird plötzlich um vieles länger, aber dafür auch schmäler, sie wird annähernd cylindrisch, färbt sich durchweg bläulich und aus dem Rohre erschallt ein durchdringendes zweigestrichenes *d*, das seit 80 Jahren bekannte Phänomen der sogenannten chemischen Harmonika ist eingetreten. Der Hahn wird noch mehr geschlossen, der Ton wird noch stärker, die Flamme noch länger und schmäler, fast spindelförmig, sie verlischt.

Ganz ähnlich nun, wie das Abschneiden des Gases, wirkt ein gesungenes oder von Instrumenten angegebenes *d* oder eingestrichenes *d* u. s. w. auf die kleine Gasflamme; wobei zu bemerken, dass die Flamme im Allgemeinen um so empfindlicher wird, je kleiner sie ist und je tiefer die Brennerspitze in das Glasrohr hineinragt.

6. Die Flamme im *d*-Rohr ist 2 bis 3 Mm. lang; 16,3 Meter (über 51 Fuss rheinländ.) von ihr wird eingestrichenes *d* gesungen. Die Flamme nimmt sogleich die ungewöhnliche Gestalt an und das zweigestrichene *d* erklingt aus dem Rohr und fährt fort zu klingen.

7. Das zweigestrichene *d* des vorigen Versuches ertönt. In der Nähe wird mit Kraft eingestrichenes *d* gesungen, die Flamme verlängert sich übermässig und verlischt.

8. Die Flamme ist nur 1,5 Mm. lang; eingestrichenes *d* wird gesungen. Die Flamme lässt nur einen Augenblick zweigestrichenes *d* (vielleicht auch bisweilen ein höheres *d*) erklingen und erlischt. Auf die Flamme wirken auch verschiedene *d* einer stellbaren Labialpfeife, das Contra *D*, *D*, *d*, eingestrichenes *d* und zweigestrichenes *d* eines Harmoniums

(von Trayser in Stuttgart), aber kein einziges *cis* oder *dis* dieses mächtigen Tonwerkzeuges. Es wirkt auch, aber nur ganz in der Nähe, das dreigestrichene *d* einer sogenannten Kinderklarinette. Der gesungene Ton wirkt auch, wenn er durch Einathmen entsteht (in diesem Falle zweigestrichenes *d*) oder wenn der Mund von der Flamme abgewendet ist.

9. In der Nähe wirkt auch der gesungene Ton *g*.

Geräusche haben gleichfalls Einfluss, aber nicht alle, oft auch die stärksten und nächsten nicht, offenbar weil der erregende Ton in ihnen nicht enthalten ist.

10. Die Flamme brennt innerhalb des *d*-Rohres im Zustande der Ruhe etwa 2,5 Mm. lang. Im Nebenzimmer, dessen Thür geöffnet ist, wird ein Stuhl mit seinen vier Füssen gleichzeitig auf den hölzernen Fussboden gestampft. Sogleich tritt das Phänomen der chemischen Harmonika ein. Eine ganz kleine Flamme wird natürlich durch das Stuhlgeräusch nach augenblicklichem Tönen ausgelöscht. Ein angeschlagenes Tamtam wirkt bisweilen, gewöhnlich aber nicht.

11. Das Flämmchen brennt im erregten, tongebenden Zustande innerhalb des *d*-Rohres; dieses wird langsam so weit in die Höhe geschoben, als sich, ohne dass die Flamme in den gewöhnlichen Zustand zurückfällt, thun lässt. Der Ton, eingestrichenes *d*, wird auf 1,5 M. Entfernung stark und kurz abgebrochen gesungen. Der Harmonikaton hört auf, die Flamme befindet sich im Ruhezustand, ohne zu verlöschen.

12. Dasselbe geschieht mittelst Einwirkung auf den Luftzug im Rohre durch eine fächelnde Bewegung der flachen Hand nahe über der oberen Rohrmündung.

13. Im *d*-Rohre befinden sich zwei Brenner dicht neben einander; der eine, von 0,5 Mm. Durchmesser im Lichten, mündet 5 Mm. unter dem anderen, dessen Durchmesser 1 Mm. oder mehr beträgt. Aus beiden fliessen Gasströme, welche von einander unabhängig sind, und zwar aus dem engeren ein ganz schwacher Strom, welcher angezündet mit einer etwa 1,5 Mm. langen, am Tage fast unsichtbaren Flamme brennt; ein-

gestrichenes *d* wird in 3 Meter Entfernung gesungen. Augenblicklich entflammt sich der starke Gasstrom, weil das unter ihm befindliche Flämmchen bei seiner Verlängerung in ihn hineinzüngelt. Bei starker Einwirkung des Tones verlischt die kleine Flamme selbst, so dass eine wirkliche Uebertragung der Flamme von einem Brenner auf den anderen stattfindet. Bald darauf pflegt sich der schwache Gasstrom wieder an der grossen Flamme zu entzünden, und wenn man die letztere nun allein auslöscht, so ist Alles zur Wiederholung des Versuches bereit.

14. Dasselbe Ergebniss liefert Aufstampfen mit dem Stuhle und dergleichen.

Es leuchtet ein, dass man auf diese Art durch Ton und Geräusch Gasflammen von beliebiger Grösse erzeugen und jede beliebige mechanische Wirkung hervorbringen kann, wenn man einen durch Gewichte gespannten Faden so durch das Glasrohr hindurchzieht, dass ihn die auflodernde Flamme anbrennen muss.

15. Blickt man die Flamme der chemischen Harmonika starr an und giebt dabei dem Kopfe eine rasch abwechselnde Bewegung nach rechts und nach links, so sieht man nicht einen ununterbrochenen Feuerstreifen, wie ihn sonst jeder leuchtende Körper giebt, sondern eine Reihe neben einander stehender Flammen, oft auch zahnförmige und wellenförmige Bilder, vorzüglich wenn meterlange Rohre und centimeterlange Flammen benutzt werden.

Dieser Versuch gelingt auch ganz leicht ohne Bewegung der Augen, wenn man die Flamme durch einen Operngucker betrachtet, dessen Objectiv rasch hin und her oder im Kreise bewegt wird, ebenso, wenn man das Flammenbild in einem schüttelnd bewegten Handspiegel beobachtet. Er ist übrigens nur eine Abänderung des schon vor längerer Zeit von Wheatstone angegebenen und erklärten Versuches, zu welchem ein durch Uhrwerk rotirender Spiegel gedient hat *).

*) [Es ist wohl nur recht, dass ich auf die Aehnlichkeit dieser Abhandlung mit der, die ich über denselben Gegenstand veröffentlicht habe, aufmerksam mache. Am 6. Mai und an den folgenden Tagen wurden die hauptsächlichsten Thatsachen, die ich in meiner Abhandlung beschrieben

habe, beobachtet, aber am 30. April waren die oben angeführten Resultate von Professor Poggendorff der Akademie der Wissenschaften in Berlin mitgetheilt worden. Durch die Freundlichkeit des Herrn v. Schaffgotsch selbst erhielt ich seine Abhandlung in Chamouny, viele Wochen, nachdem die meinige erschienen war, und bis dahin wusste ich nicht, dass er seine Versuche über diesen Gegenstand fortgesetzt habe.

So arbeiteten wir unabhängig von einander; so weit aber, wie die beschriebenen Erscheinungen uns Beiden gemeinschaftlich sind, gebührt alles Verdienst der Priorität dem Grafen Schaffgotsch. J. T.]

Neuntes Kapitel.

Gesetz der Abnahme mit der Entfernung. — Die Schallwellen sind longitudinal; die Lichtwellen transversal. — Die Molecüle verschiedener Körper theilen, wenn sie schwingen, verschiedene Mengen von Bewegung dem Aether mit. — Strahlung, die Mittheilung der Bewegung an den Aether. — Absorption, die Aufnahme der Bewegung vom Aether. — Die Oberflächen, die gut strahlen, absorbiren gut. — Eine dichte wollene Decke erleichtert die Abkühlung. — Schützender Einfluss von Goldblatt. — Die Atome der Körper wählen gewisse einzelne Wellen aus, die sie zerstören, und lassen andere hindurchgehen. — Durchsichtigkeit und Durchwärmigkeit. — Durchwärmige Körper strahlen schwach aus. — Der Ausdruck „Qualität" auf strahlende Wärme übertragen. — Die Strahlen, die ohne Absorption durchgehen, erwärmen nicht das Medium. — Die mächtigsten Sonnenstrahlen können durch die Luft gehen, während die Luft unter dem Gefrierpunkt bleibt. — Verhältniss der leuchtenden und dunkeln Strahlen in verschiedenen Flammen.

334. Ich habe gesagt, dass die Intensität der strahlenden Wärme mit der Entfernung in demselben Verhältniss, wie das Licht abnimmt. Welches ist das Gesetz der Abnahme des Lichts? Ich habe hier ein quadratisches Blatt Papier, dessen Seiten 2 Fuss lang sind; ich lege es zu einem kleineren Quadrat zusammen, dessen Seiten nun einen Fuss Länge haben. Die elektrische Lampe steht in einer Entfernung von 16 Fuss von dem Schirme; ich halte dieses Papierquadrat in einer Entfernung von 8 Fuss, gerade

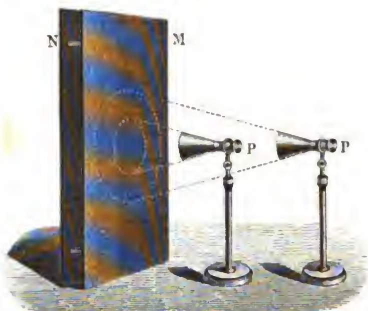
halbwegs zwischen Schirm und Lampe. Die Lampe ist unbedeckt, von der Camera nicht umgeben, und ihre Strahlen, die von keinen Linsen abgelenkt sind, werden frei nach allen Seiten ausgestrahlt. Sie sehen den Schatten des Papierquadrats auf dem Schirme. Mein Assistent wird die Grenzen des Schattens messen und ich entfalte jetzt mein Blatt Papier, damit ich das erste grosse Quadrat wieder erhalte; Sie sehen durch die Brüche, dass sein Flächeninhalt gerade viermal grösser ist, als der des kleineren. Ich halte dieses grosse Blatt gegen den Schirm und es bedeckt genau den Raum, den vorher der Schatten des kleinen eingenommen hatte.

335. Es fiel also eine Menge von Licht auf das kleine Quadrat, als es halbwegs zwischen Lampe und Schirm hing, die nun, da das kleine Quadrat weggenommen ist, auf einen viermal grösseren Flächenraum des Schirmes vertheilt wird. Wenn aber dieselbe Lichtmenge auf einen viermal grösseren Flächenraum vertheilt wird, so muss sie bis auf ein Viertel ihrer vorigen Intensität geschwächt werden. So vermindern wir die Intensität bis zum Viertel, wenn wir die Entfernung von der Lichtquelle verdoppeln. Wir könnten durch ein ganz ähnliches Experiment beweisen, dass, wenn wir die Entfernung verdreifachen, wir die Intensität auf ein Neuntel vermindern, und dass bei einer vierfachen Entfernung die Intensität ein Sechszehntel sein würde; kurz, wir beweisen das Gesetz, dass die Intensität des Lichts ebenso abnimmt, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt. Dies ist das berühmte Gesetz des umgekehrten Quadrats der Entfernung in seiner Anwendung auf das Licht.

336. Ich habe aber gesagt, dass die Wärme nach demselben Gesetz abnimmt. Beobachten Sie das Experiment, das ich Ihnen jetzt zeigen will. Hier ist ein schma-

les Zinngefäss, dessen eine Seite indess eine Quadratelle Flächeninhalt hat, *MN* (Fig. 83). Diese Seite ist, wie Sie sehen, mit Lampenruss bedeckt. Das Gefäss ist mit heissem Wasser gefüllt, und ich will nun diese grosse Ober-

Fig. 83.



fläche zu meiner Quelle strahlender Wärme machen. Ich setze jetzt den konischen Reflector auf die thermo-elektrische Säule *p*, aber statt ihn als Reflector zu benutzen, schiebe ich in den Hohlkegel diesen genau passenden Ueberzug von schwarzem Papier, der, weit entfernt, die Wärme, die schräg auffallen könnte, zu reflectiren, alle schrägen Strahlen vollkommen auffängt. Die Säule ist jetzt mit dem Galvanometer verbunden, und ich stelle den Reflector so nahe an diese grosse strahlende Fläche, dass die Oberfläche der Säule ungefähr 6 Zoll von derselben entfernt ist.

337. Die Nadel des Galvanometers bewegt sich; sie zeigt jetzt beständig auf 60°, und wird dort so lange bleiben, als die Temperatur der strahlenden Oberfläche wesentlich constant bleibt. Ich will jetzt die Säule allmählich

von der Oberfläche entfernen; wollen Sie die Wirkung auf das Galvanometer beobachten. Sie werden natürlich erwarten, dass, sowie ich von der Quelle zurückgehe, die Intensität der Wärme abnehmen wird, und dass die Abweichung des Galvanometers in einem entsprechenden Grade sich vermindert. Ich habe jetzt die doppelte Entfernung erreicht, aber die Nadel rührt sich nicht; ich verdreifache die Entfernung, die Nadel bleibt noch stehen; ich vervierfache, verfünffache, ich verzehnfache die Entfernung, aber die Nadel bleibt fest auf ihrer Ablenkung von 60°. Allem Anscheine nach nimmt also die Intensität durchaus nicht mit der Zunahme der Entfernung ab.

338. Melloni bewies in einer höchst genialen Weise durch dieses Experiment, das im ersten Augenblicke das Gesetz des umgekehrten Quadrates für die Wärme zu widerlegen scheint, die Richtigkeit eben dieses Gesetzes. Ich will seiner Beweisführung hier folgen. Denken Sie sich den Hohlkegel vor der Säule verlängert; er würde die strahlende Oberfläche in einer Kreisfläche schneiden, und dieser Kreis ist der einzige Theil der Oberfläche, dessen Strahlen die Säule erreichen können. Alle anderen Strahlen werden durch den nicht reflectirenden Ueberzug des Kegels aufgefangen. Wenn ich die Säule verschiebe, um die Entfernung zu verdoppeln, so umschliesst der Durchschnitt des verlängerten Kegels mit der strahlenden Oberfläche einen Kreis, der genau viermal den Flächeninhalt des vorigen Kreises hat; bei der dreifachen Entfernung ist die strahlende Oberfläche neunmal so gross; bei der zehnfachen Entfernung ist die strahlende Oberfläche auf das Hundertfache vermehrt. Aber die Beständigkeit der Abweichung beweist, dass die Vermehrung der Oberfläche genau durch die Abnahme der Intensität neutralisirt sein muss; die strahlende Oberfläche

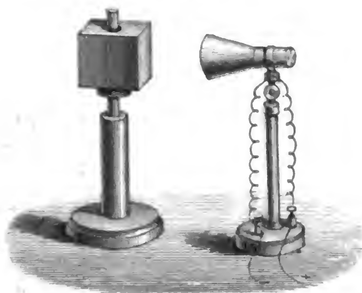
nimmt mit dem Quadrat der Entfernung zu, also muss die Intensität der Wärme mit dem Quadrat der Entfernung abnehmen; und so beweist dieses Experiment, das erst dem Gesetze zu widersprechen schien, eben dieses Gesetz auf die einfachste und entscheidendste Weise.

339. Wir wollen auf einen Augenblick zu unseren Grundvorstellungen über die strahlende Wärme zurückgehen. Ihr Ursprung ist eine oscillirende Bewegung der kleinsten Theile der Materie, eine Bewegung, die vom Aether aufgenommen und durch ihn in Wellen fortgepflanzt wird. Die Theilchen des Aethers oscilliren in diesen Wellen nicht auf dieselbe Weise, wie die Theilchen der Luft beim Schall. Die Lufttheilchen bewegen sich hin und her, in der Richtung, in der der Schall sich fortpflanzt; die Aethertheilchen bewegen sich hin und her, senkrecht gegen die Linie, in der das Licht sich fortpflanzt. Die Wellenbewegungen der Luft sind longitudinal, die des Aethers transversal. Die Aetherwellen gleichen den Wasserwellen mehr, als den Luftimpulsen, die den Schall hervorrufen; dass dies der Fall ist, hat man aus optischen Erscheinungen geschlossen. Aber sicher ist, dass die Störung, die in dem Aether hervorgerufen wird, von dem Wesen der schwingenden Moleküle abhängt; ein Atom kann schwerer beweglich sein, als ein anderes, und man kann nicht erwarten, dass ein einzelnes Atom eine so grosse Störung hervorbringen kann, wie eine Gruppe von Atomen, die als System oscilliren. So können wir sicher annehmen, dass, wenn verschiedene Körper erwärmt werden, ihre Atome den Aether nicht stets in gleichem Grade erschüttern werden. Es ist wahrscheinlich, dass einige von ihnen demselben eine grössere Menge von Bewegung mittheilen als andere; in anderen Worten, einige werden reichlicher ausstrahlen als andere; denn Ausstrahlung,

genau definirt, ist die **Mittheilung der Bewegung der einzelnen Theile eines erwärmten Körpers an den Aether, in dem diese Theilchen sich befinden.**

340. Wir wollen diese Vorstellung jetzt durch das Experiment prüfen. Ich habe hier ein würfelförmiges Gefäss *C* (Fig. 84) — einen Leslie'schen Würfel — den man so genannt hat, weil er von Sir John Leslie bei

Fig. 84.



seinen schönen Untersuchungen über strahlende Wärme benutzt wurde. Der Würfel ist von Zinn, aber eine seiner Seiten ist mit einer dünnen Schicht von Gold überzogen, eine zweite mit Silber, eine dritte mit Kupfer, während die vierte mit einem Firniss von Hausenblase bedeckt ist. Ich fülle den Würfel mit heissem Wasser, halte ihn stets in einer gleichen Entfernung von der thermo-elektrischen Säule *P* und lasse seine vier Seiten nach einander gegen die Säule strahlen. Die heisse goldene Oberfläche ruft, wie Sie sehen, kaum eine Abweichung hervor; die heisse silberne ist ebenso wirkungs-

los; dasselbe ist der Fall mit dem Kupfer; wenn ich aber diese gefirnisste Oberfläche der Säule zuwende, so nimmt der Strom der Wärme plötzlich zu und die Nadel geht, wie Sie sehen, bis an ihre Hemmungen. Hieraus schliessen wir, dass aus irgend einer physikalischen Ursache die Moleküle des Firnisses, wenn sie durch das heisse Wasser im Würfel in Bewegung gesetzt worden sind, dem Aether mehr Bewegung mittheilen, als die Atome der Metalle; mit anderen Worten, der Firniss ist ein besserer Ausstrahler als die Metalle. Ich erhalte ein ähnliches Resultat, wenn ich diese silberne Theekanne mit dieser irdenen vergleiche; beide sind mit kochendem Wasser gefüllt, und Sie sehen, dass das Silber nur eine geringe Wirkung hervorruft, während die Ausstrahlung des irdenen Geschirrs so reichlich ist, dass die Nadel bis auf 90° geht. Ebenso finde ich, wenn ich diesen zinnernen Topf mit diesem Glasbecher vergleiche, wenn beide mit kochendem Wasser angefüllt sind, dass die Ausstrahlung vom Glase bei weitem mächtiger ist als die vom Zinn.

341. Sie haben oft von dem Einfluss der Farben auf die Ausstrahlung gehört, dabei aber wahrscheinlich so manches, was durch das Experiment nicht erwiesen ist. Ich habe hier einen Würfel, dessen eine Seite mit weisser Farbe überzogen ist, die zweite mit Karmin, die dritte mit Lampenruss, während die vierte unbedeckt blieb. Ich stelle zuerst die schwarze Oberfläche der Säule gegenüber, nachdem der Würfel mit kochendem Wasser angefüllt worden ist; die Nadel schlägt aus und zeigt jetzt beständig auf 65°. Der Würfel steht auf einem kleinen, drehbaren Tische, ich drehe den Träger und wende die weisse Oberfläche der Säule zu; die Nadel bleibt fest stehen, zum Beweise, dass die Ausstrahlung der weissen Oberfläche gerade ebenso reichlich ist, wie die der

schwarzen. Ich drehe die rothe Oberfläche der Säule zu; es tritt kein Wechsel in der Stellung der Nadel ein. Ich drehe die unbedeckte Seite hin: die Nadel geht augenblicklich zurück und zeigt dadurch die geringere Ausstrahlung der metallischen Oberfläche an. Ich wiederhole genau dieselben Versuche mit diesem Würfel, dessen Seiten mit Sammet bedeckt sind, die eine Seite mit schwarzem Sammet, die andere mit weissem und die dritte mit rothem. Die Wirkung ist ganz dieselbe, wie bei dem vorigen Versuche; die drei Sammetoberflächen strahlen gleich aus, während die unbedeckte Oberfläche schwächer als dieselben ausstrahlt. Diese Experimente zeigen, dass die Ausstrahlung der Kleider, welche den menschlichen Körper bedecken, unabhängig von ihrer Farbe ist; ebenso, wie die Farbe eines thierischen Pelzes auf die Ausstrahlung keinen Einfluss ausüben kann. Dieses sind die Schlüsse, zu denen Melloni über dunkle Wärme gekommen ist *).

342. Theilt die bedeckte Oberfläche dem Aether mehr Bewegung mit als die unbedeckte, so folgt nothwendig daraus, dass das bedeckte Gefäss sich schneller abkühlt als das unbedeckte. Ich habe hier zwei Würfel, von denen der eine mit Lampenruss überzogen, der andere aber glänzend ist. Vor drei Viertelstunden goss ich kochendes Wasser in beide Gefässe und stellte in jedes ein Thermometer. Damals zeigten beide Thermometer dieselbe Temperatur an, und nun steht das eine zwei Grad tiefer als das andere. Die Geschwindigkeit der Abkühlung ist für das eine Gefäss grösser als für das andere, und

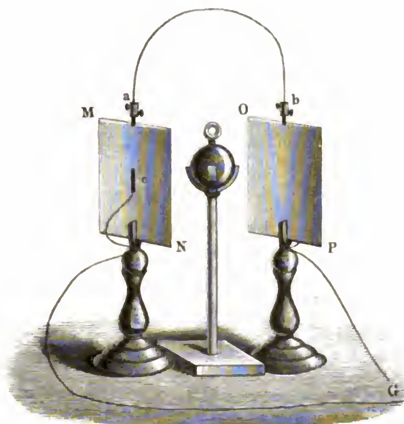
*) Bei Anwendung einer entscheidenderen und genaueren Methode als der von Melloni angewendeten finde ich, dass seine Schlüsse eine Abänderung erfordern.

das Gefäss, welches sich am schnellsten abkühlt, ist das berusste. Hier sind zwei Gefässe, von denen das eine glänzend ist, das andere aber dicht mit Flanell bedeckt. Vor einer halben Stunde zeigten zwei in diese Gefässe getauchte Thermometer dieselbe Temperatur, aber jetzt zeigen sie sie nicht mehr; das bekleidete Gefäss hat jetzt eine Temperatur, die zwei oder drei Grad niedriger ist als die des unbekleideten. Es ist nicht ungewöhnlich, dass man die Theekannen durch einen wollenen Ueberzug warm erhält; dann muss dieser aber sehr lose aufliegen. In diesem Falle wird, obgleich die Decke ein guter Ausstrahler ist, ihre grössere Wärmeabgabe durch die Schwierigkeit, mit der die Wärme die äussere Oberfläche der Bedeckung erreicht mehr als ausgeglichen. Eine dicht anschliessende Hülle würde, wie wir gesehen haben, den Wärmeverlust vermehren, den sie vermindern sollte, und so mehr schaden als nützen.

343. Eine der interessantesten Erscheinungen, welche sich diesen Beobachtungen anschliesst, ist die Gegenseitigkeit, die zwischen der Fähigkeit eines Körpers besteht, Wärme dem Aether mitzutheilen oder auszustrahlen, und seiner Fähigkeit, vom Aether Bewegung anzunehmen oder zu absorbiren. Was die Ausstrahlung anbetrifft, so haben wir schon Lampenruss und weisse Farbe mit metallischen Oberflächen verglichen; wir wollen dieselben Substanzen jetzt in Betreff ihrer Absorptionsfähigkeit vergleichen. Ich habe hier zwei Zinnplatten, MN, OP (Fig. 85), von denen die eine, OP, mit weisser Farbe überzogen ist, und die andere, MN, unbedeckt gelassen wurde; ich stelle sie parallel einander gegenüber, ungefähr zwei Fuss von einander entfernt. An den Rand jeder Tafel ist eine Klemmschraube gelöthet und von einer derselben zur anderen ist ein Kupferdraht ab gezogen, der nun die beiden

Platten verbindet. An die Rückseite jeder Tafel habe ich das eine Ende einer kleinen Wismuthstange angelöthet,

Fig. 85.



an das andere Ende *c* der letzteren ist ein Draht gelöthet, der in einer Klemmschraube endet. An diesen beiden Klemmschrauben sind die beiden Enden des Drahtes befestigt, die von meinem Galvanometer bei *G* kommen, und Sie bemerken, dass ich nun einen ununterbrochenen Schliessungskreis habe, in den das Galvanometer mit eingeschaltet ist. Sie wissen, wozu die Wismuthstangen dienen. Ich lege meinen warmen Finger auf diese zu meiner Linken; ein Strom entsteht sogleich, der von dem Wismuth zum Zinn geht, durch den Draht, der die beiden Tafeln verbindet, und dann um das Galvanometer zu dem Punkte zurückfliesst, von dem er ausging. Sie beobachten die Wirkung. Die Nadel des Galvanometers bewegt sich durch

einen grossen Bogen; das rothe Ende neigt sich Ihnen zu. Ich will jetzt meinen Finger auf das Wismuth an der Rückseite der anderen Tafel legen; Sie sehen die Wirkung: eine grosse Abweichung nach der anderen Seite, das rothe Ende der Nadel neigt sich jetzt zu mir. Ich ziehe meinen Finger zurück, die Löthstelle kühlt sich ab, und die Nadel kehrt wieder auf Null zurück.

344. Ich stelle einen Ständer genau in die Mitte zwischen die beiden Zinntafeln, und lege auf den Ständer eine erwärmte kupferne Kugel; die Kugel wird ihre Wärme gegen beide Tafeln ausstrahlen; nach rechts werden aber ihre Strahlen auf die bekleidete Oberfläche fallen, während sie nach links die unbedeckte metallische Oberfläche treffen. Wenn beide Oberflächen die strahlende Wärme gleichmässig absorbiren, wenn beide mit gleicher Leichtigkeit die Bewegung der ätherischen Wellen annehmen, so müssen die Wismuthlöthstellen auf den Hinterflächen gleichmässig erwärmt werden, und die eine wird die andere neutralisiren. Wenn aber die eine Oberfläche mehr absorbirt als die andere, so muss die, welche am meisten absorbirt, die ihre Wärme anzeigende Wismuthstange am meisten erwärmen; eine Abweichung der Nadel des Galvanometers wird die Folge sein, und die Richtung der Abweichung wird uns den Körper anzeigen, der am meisten absorbirt. Die Kugel liegt jetzt auf dem Ständer und die schnelle und starke Ablenkung der Nadel belehrt uns, dass die bekleidete Oberfläche der am stärksten absorbirende Körper ist. Auf dieselbe Weise vergleiche ich Lampenruss und Firniss mit Zinn, und finde, dass die beiden ersteren bei weitem am meisten absorbiren *).

*) Die Farbe hat nach Melloni keinen Einfluss auf die Absorption der dunkeln Wärme; sie hat aber grossen Einfluss auf die Absorption der leuchtenden Wärme, wie z. B. der der Sonne.

345. Der schwächste metallische Ueberzug ist ein grosser Schutz gegen die Absorption der strahlenden Wärme. Hier ist zum Beispiel ein Blatt Goldpapier, an welchem das Gold nichts weiter ist, als sehr dünn geschlagenes Kupfer. Hier ist ein rothes Pulver, Quecksilberjodid, mit welchem ich die nicht metallische Oberfläche des Goldpapiers bedecke. Viele von Ihnen wissen, dass die rothe Farbe dieses Jodids von der Wärme zerstört wird und sich in ein helles Gelb umwandelt. Ich lege das Papier flach auf ein Brett, mit der gefärbten Oberfläche nach unten; auf die obere metallische Oberfläche sind Stückchen Papier geklebt; gewöhnliches Briefpapier entspricht dem Zwecke. So kann die Figur irgend eines beliebigen Musters auf der Oberfläche des Kupfers gebildet werden. Ich nehme jetzt einen rothglühenden Spatel zur Hand und fahre damit verschiedene Male über das Blatt; der Spatel strahlt stark gegen das Blatt aus, aber wir wissen, dass seine Strahlen in sehr verschiedenem Maasse absorbirt werden. Die metallische Oberfläche wird nur wenig absorbiren; die Papieroberflächen werden die Wärme begierig einschlucken, und wenn ich das Papier umdrehe, so sehen Sie die Wirkung: das Jodid unterhalb des metallischen Theiles ist vollständig unverändert, während unter jedem Blatt Papier die Farbe vollständig zerstört ist, und sich so unterhalb eine genaue Copie der Figuren bildet, die auf der entgegengesetzten Oberfläche des Blattes aufgeklebt sind. Hier ist ein anderes Beispiel derselben Art, das ich Herrn Hill verdanke. Ein Feuer sandte seine *Strahlen* gegen das bemalte Stück Holz (Fig. 86 a. f S.), auf dem die Zahl 338 mit Goldpapier aufgedruckt war; die Farbe ist rings um die Zahlen zu Blasen gezogen und verbrannt, aber unter den Zahlen ist das Holz und die Farbe ganz unverändert geblieben. Dieser dünne Ueberzug von Gold

reichte vollkommen hin, um die Absorption zu verhindern, der die Zerstörung der umgebenden Oberfläche zuzuschreiben ist.

Fig. 86.



346. Der leuchtende Aether erfüllt den Weltenraum; er macht das Weltall zu einem grossen Ganzen, und ermöglicht die gegenseitige Mittheilung von Licht und Kraft zwischen den Sternen. Aber die feine Substanz dringt tiefer ein, sie umgiebt die einzelnen Atome der festen und flüssigen Substanzen. Durchsichtige Körper sind diejenigen, in denen der Aether und die Atome der Körper so mit einander verbunden sind, dass die Wellen, welche Licht erzeugen, durch sie hindurch gehen können, ohne ihre Bewegung auf die Atome zu übertragen. In gefärbten Körpern werden gewisse Wellen vernichtet oder absorbirt; aber diejenigen, die dem Körper seine Farbe geben, gehen ohne Verlust hindurch. Zum Beispiel gehen die blauen Wellen durch diese Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd unbehindert hindurch, während die rothen Wellen zerstört werden. Ich bilde ein Spectrum auf dem Schirm; lasse ich das Licht durch diese Lösung gehen, so sehen Sie, dass das rothe Ende des Spectrums weggeschnitten ist. Dieses Stück rothes Glas verdankt im Gegentheil seine rothe Farbe dem Umstand, dass es leicht von den längeren Schwin-

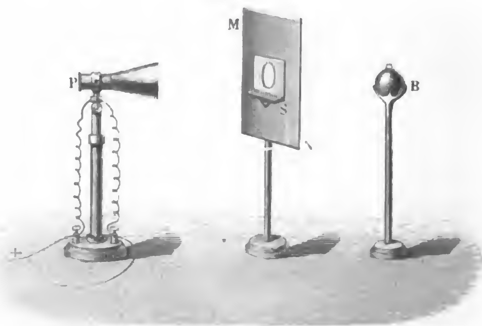
gungen des Roth durchkreuzt werden kann, während die kürzeren Wellen verzehrt werden. Bringe ich es in den Weg des Lichts, so schneidet es das blaue Ende des Spectrums vollkommen ab und lässt nur einen lebhaft rothen Streifen auf dem Schirm. Diese blaue Flüssigkeit fängt also die Strahlen ab, die durch das rothe Glas fortgepflanzt werden, und das rothe Glas zerstört die, die durch die Flüssigkeit fortgepflanzt werden; bei der Vereinigung beider müssten wir vollständige Dunkelheit haben, und die haben wir auch. Werden beide in den Weg des Lichtstrahls gebracht, so verschwindet das ganze Spectrum; die Vereinigung dieser beiden durchsichtigen Körper ruft eine Undurchsichtigkeit hervor, die der des Pechs oder der Kohle gleich ist.

347. Ich habe hier eine andere Flüssigkeit, eine Lösung von übermangansaurem Kali, die ich in den Weg des Strahles bringe. Die beiden Enden des Spectrums gehen ungehindert hindurch; Sie sehen das Roth und das Blau, aber zwischen beiden einen Raum von tiefer Schwärze. Das Gelbe im Spectrum ist rücksichtslos von dieser Flüssigkeit zerstört worden; durch das Netzwerk ihrer Atome können die gelben Strahlen nicht hindurch, während die rothen und blauen hindurchgleiten und durch die Zwischenräume der Atome ohne merkliche Behinderung gelangen. Und daher die prächtige Farbe dieser Flüssigkeit. Ich will die Lampe umdrehen und eine Scheibe von Licht von zwei Fuss im Durchmesser auf den Schirm werfen. Ich führe jetzt die Flüssigkeit ein: giebt es etwas glänzenderes, als die Farbe dieser Scheibe? Ich stelle die Lampe wieder schräg und schalte ein Prisma ein; hier haben Sie die Theile, aus denen die schöne Farbe zusammengesetzt ist; der violette Theil hat sich von dem rothen getrennt. Sie sehen zwei deut-

lich gesonderte Scheiben von diesen beiden Farben, welche in der Mitte über einander fallen und dort die Farbe des durch die Flüssigkeit hindurchgegangenen zusammengesetzten Lichtes zeigen.

348. So üben die Körper auf die Lichtwellen eine auswählende Kraft aus, indem sie einzelne Wellen zur Zerstörung aussondern und andere durchgehen lassen. Durchsichtigkeit für Wellen von einer Länge schliesst nicht die Durchsichtigkeit für Wellen von einer anderen Länge mit ein, und daraus können wir füglich schliessen, dass Durchsichtigkeit für Licht nicht auch Durchsichtigkeit für strahlende Wärme bedingt. Dieser Schluss wird vollständig durch das Experiment bestätigt. Ich habe hier einen zinnernen Schirm *MN* (Fig. 87) mit

Fig. 87.



einer Oeffnung in der Mitte, hinter der ein kleines Tischchen *S* angelöthet ist. Ich lege diese dunkelrothglühende kupferne Kugel *B* auf einen geeigneten Ständer. Auf die andere Seite des Schirmes ist meine thermo-elektrische

Säule *P* gestellt worden; die Strahlen der Kugel gehen nun durch die Oeffnung im Schirm und fallen auf die Säule; die Nadel bewegt sich und kommt endlich bei einer beständigen Ablenkung von 80 Grad zur Ruhe. Hier ist ein $^1/_4$ Zoll weites und mit destillirtem Wasser angefülltes gläsernes Gefäss. Ich stelle das Gefäss auf das Tischchen *S*, so dass alle Strahlen, die die Säule erreichen, durch das Wasser gehen müssen; was geschieht? Die Nadel sinkt beständig, fast bis auf Null; kaum dass ein Strahl von der Kugel durch das Wasser dringen kann; das Wasser ist für die Wellenbewegungen, die von der Kugel ausgehen, vollständig undurchlässig, obgleich es für die Lichtstrahlen so sehr durchsichtig ist. Ehe ich das Gefäss mit dem Wasser fortnehme, stelle ich dahinter ein ähnliches Gefäss, das den durchsichtigen Schwefelkohlenstoff enthält, so dass, wenn ich jetzt das Gefäss mit Wasser entferne, die Oeffnung durch die neue Flüssigkeit verschlossen wird. Was geschieht nun? Die Nadel geht schnell vorwärts und beschreibt einen grossen Bogen, so dass dieselben Strahlen, für die das Wasser undurchdringlich war, leichten Durchgang durch den Schwefelkohlenstoff finden. Auf dieselbe Weise vergleiche ich Weingeist mit Phosphorchlorid, und finde, dass der erstere fast undurchlässig für die Strahlen ist, die unsere erhitzte Kugel ausstrahlt, während das letztere sie unbehindert durchgehen lässt.

349. So ist es auch bei festen Körpern. Hier ist eine Platte von sehr reinem Glase, die ich auf den Ständer stelle; ich benutze statt der Kugel *B* einen Würfel voll heissem Wasser und lasse die Strahlen des erhitzten Würfels durch die Platte hindurchgehen, wenn sie können. Es ist keine Bewegung der Nadel bemerkbar. Ich nehme nun statt der Glasplatte eine Platte von Steinsalz, die

zehnmal dicker ist; Sie sehen, wie schnell sich die Nadel bewegt, bis sie von ihren Hemmungen aufgehalten wird. Für diese Strahlen ist das Steinsalz also sehr durchlässig, während das Glas so gut wie undurchlässig für sie ist.

350. Diese und unzählige ähnliche Resultate verdanken wir Melloni, der eigentlich als der Schöpfer dieses Zweiges unseres Gebietes angesehen werden kann. Um die Kraft der Wärmedurchlassung auszudrücken, schlug er das Wort Diathermansie (Durchwärmigkeit) vor. Diathermansie steht in derselben Beziehung zu strahlender Wärme, wie Durchsichtigkeit zu Licht. Statt dass ich Ihnen meine eigenen Bestimmungen über die Diathermansie der verschiedenen Körper gebe, will ich eine Auswahl aus den Tabellen jenes grossen italienischen Naturforschers treffen. Zu diesen Bestimmungen benutzte Melloni vier verschiedene Wärmequellen: die Flamme einer Locatelli'schen Lampe; eine Spirale von Platindraht, die durch die Flamme einer Weingeistlampe weissglühend erhalten wurde; eine Kupferplatte, die auf 400° C. und eine Kupferplatte, die auf 100° C. erwärmt war; die letzterwähnte Quelle war die Oberfläche eines kupfernen Würfels voll kochendem Wasser. Die Experimente wurden in folgender Weise gemacht: Zuerst wurde die Ausstrahlung der Quelle bestimmt, das heisst, die galvanometrische Ablenkung, die durch sie hervorgerufen wurde, wenn nichts als Luft zwischen der Wärmequelle und der Säule war; diese Abweichung drückte die totale Ausstrahlung aus. Dann wurde die Substanz eingeführt, deren Diathermansie untersucht werden sollte, und die daraus folgende Ablenkung aufgezeichnet; diese Ablenkung drückte die Wärmemenge aus, die durch die Substanz hindurchgelassen wurde. Wenn wir die totale Ausstrahlung zu 100 annehmen, so sind die entsprechenden

Mengen, die durch 25 verschiedene Substanzen hindurchgelassen worden sind, auf der folgenden Tabelle angegeben.

Namen der Substanzen, reducirt auf die gemeinsame Dicke von 1/10 Zoll (2,6 Mm.).	Durchgelassene Wärme: Procente der totalen Strahlung.			
	Locatelli'sche Lampe.	Weissglühendes Platin.	Kupfer bei 400° C.	Kupfer bei 100° C.
1. Steinsalz	92,3	92,3	92,3	92,3
2. Sicilianischer Schwefel	74	77	60	54
3. Flussspath	72	69	42	33
4. Beryll	54	23	13	0
5. Doppelspath	39	28	6	0
6. Glas	39	24	6	0
7. Bergkrystall	38	28	6	3
8. Rauchquarz	37	28	6	3
9. Chromsaures Kali	34	28	15	0
10. Weisser Topas	33	24	4	0
11. Kohlensaures Bleioxyd	32	23	4	0
12. Schwefelsaurer Baryt	24	18	3	0
13. Feldspath	23	19	6	0
14. Amethyst (violett)	21	9	2	0
15. Künstlicher Bernstein	21	5	0	0
16. Borsaures Natron	18	12	8	0
17. Turmalin (dunkelgrün)	18	16	3	0
18. Gummi (gewöhnlicher)	18	3	0	0
19. Selenit	14	5	0	0
20. Citronensäure	11	2	0	0
21. Weinsaures Kali	11	3	0	0
22. Natürlicher Bernstein	11	5	0	0
23. Alaun	9	2	0	0
24. Candiszucker	8	1	0	0
25. Eis	6	0,5	0	0

351. Diese Tabelle zeigt zuerst, in wie sehr verschiedenem Maasse verschiedene feste Körper die Wärme durchlassen. Sie zeigt uns auch, dass mit einer einzigen

Ausnahme, die Diathermansie der angeführten Körper mit der Qualität der Wärme wechselt. Das Steinsalz allein ist für die Wärme aus den vier Quellen gleich durchlässig. Man muss hier nicht vergessen, dass die leuchtenden Strahlen auch Wärmestrahlen sind; dass derselbe Strahl, wenn er auf den Gesichtsnerv fällt, den Eindruck des Lichts hervorruft; während er, wenn er andere Nerven des Körpers trifft, den Eindruck der Wärme hervorruft. Die leuchtenden Wärmestrahlen haben indess eine kürzere Wellenlänge, als die dunkeln Wärmestrahlen; da wir aber wissen, wie verschieden Wellen von verschiedener Länge von Körpern absorbirt werden, sind wir zum Theil auf das Resultat der vorhergehenden Tabelle vorbereitet. Während also Glas von der angegebenen Dicke 39 Procent von den Strahlen der Locatelli'schen Lampe und 24 Procent von den Strahlen des weissglühenden Platins durchlässt, lässt es nur 6 Procent von den Strahlen einer Quelle von 400° C. durch, und ist vollständig undurchlässig für alle Strahlen, die von einer Quelle von 100° C. ausgesendet werden. Wir sehen auch, dass das klare Eis, das für das Licht so durchsichtig ist, nur 6 Procent von den Strahlen der Lampe durchlässt, und 0,5 Procent von den Strahlen des weissglühenden Platins, während es alle Strahlen abschneidet, die von den beiden anderen Quellen ausgehen. Wir haben hier eine Andeutung, dass von den Strahlen, die die Locatelli'sche Lampe ausstrahlt, bei weitem die meisten dunkle sein müssen. Leuchtende Strahlen gehen durch Eis von der hier angegebenen Dicke ohne merkbare Absorption, und die Thatsache, dass 94 Procent der von der Locatelli'schen Lampe ausgehenden Strahlen durch das Eis zerstört werden, beweist, dass dieser Theil der Strahlen dunkel sein muss. Der reine und der Rauchquarz sind sehr belehrend in

Bezug auf den Einfluss der Durchsichtigkeit. Hier sind die beiden Substanzen, die eine vollständig durchsichtig, die andere dunkelbraun, und doch zeigen diese beiden Exemplare nur für die leuchtenden Strahlen einen Unterschied in der Durchlässigkeit. Der reine Quarz lässt 38 Procent, der Rauchquarz 37 Procent von den Strahlen der Lampe durch, während die Durchlässigkeit beider Substanzen für die anderen drei Quellen identisch ist.

352. Melloni glaubte, dass das Steinsalz für alle Arten von Wärmestrahlen vollkommen durchlässig sei, da der Verlust von 7,7 Procent, den die vorhergehende Tabelle aufweist, nicht der Absorption, sondern der Reflexion auf den beiden Oberflächen der Salzplatte zuzuschreiben sei. Aber die genauen Untersuchungen der Herren de la Provostaye und Desains beweisen, dass diese Substanz in verschiedenen Graden Wärme von verschiedener Art durchlässt, und Herr Balfour Stewart hat die wichtige Thatsache festgestellt, dass das Steinsalz besonders für solche Strahlen undurchlässig ist, die von einem erwärmten Stück derselben Substanz ausgehen.

353. In der folgenden Tabelle, die ich ebenfalls Melloni entnehme, ist der Durchgang der Wärme durch 19 verschiedene Flüssigkeiten angegeben. Die Quelle der Wärme war eine mit einem Glascylinder versehene Argand'sche Lampe, und die Flüssigkeiten waren in einem Gefäss mit gläsernen Wänden eingeschlossen; die Dicke der flüssigen Schicht betrug 9,21 Millimeter oder 0,36 Zoll. Es zeigt sich hier, dass die Flüssigkeiten in ihrer Fähigkeit, Wärme durchzulassen, ebenso verschieden sind, wie die festen Körper, und es ist besonders bemerkenswerth, dass das Wasser ungeachtet der Aenderung seines Aggregatzustandes seine Undurchlässigkeit behält.

Namen der Flüssigkeiten, Dicke 0,36 Zoll.	Durchgelassene Wärmemenge in Proc. der totalen Strahlung.
Schwefelkohlenstoff	63
Zweifach-Chlorschwefel	63
Phosphorchlorür	62
Terpentinöl	31
Olivenöl	30
Naphtha	28
Lavendelöl	26
Schwefeläther	21
Schwefelsäure	17
Ammoniakflüssigkeit	15
Salpetersäure	15
Absoluter Alkohol	15
Kalihydrat	13
Essigsäure	12
Holzessigsäure	12
Concentrirte Zuckerlösung	12
Steinsalzlösung	12
Eiweiss	11
Destillirtes Wasser	11

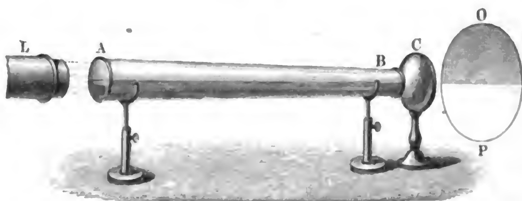
354. Das reciproke Verhalten der Körper bei der Absorption und Ausstrahlung, welches wir schon für Metalle, Firnisse u. s. f. bewiesen haben, kann jetzt auch auf die Körper in den Tabellen von Melloni ausgedehnt werden. Ich will mich mit einem oder zwei Beispielen begnügen, die ich einer äusserst lehrreichen Abhandlung des Herrn Balfour Stewart entnehme. Hier ist ein kupfernes Gefäss, in dem Wasser schwach kochend erhalten wird. Auf den flachen, kupfernen Deckel des Gefässes lege ich Glas- und Steinsalzplatten, und lasse sie die Temperatur des Deckels annehmen. Ich befestige jetzt die erhitzte Steinsalzplatte auf einem Ständer, der

thermo-elektrischen Säule gegenüber. Sie beobachten die Ablenkung; sie ist so gering, dass sie kaum bemerkbar ist. Ich nehme das Steinsalz fort und lege an seine Stelle eine Platte von erhitztem Glase; die Nadel beschreibt einen grossen Bogen und zeigt so ganz augenfällig, dass das Glas, das am stärksten dunkle Wärme absorbirt, auch am meisten ausstrahlt. Leider schmilzt Alaun schon bei einer Temperatur, die noch niedriger als die hier angewandte ist; indess, wenngleich seine Temperatur nicht so hoch als die des Glases ist, so können Sie doch sehen, dass er das Glas als Ausstrahler übertrifft; der Einfluss auf das Galvanometer ist noch bedeutender als beim letzten Experiment.

355. Die Absorption geschieht innerhalb des absorbirenden Körpers; eine gewisse Dicke ist erforderlich, um die Absorption zu bewirken. Dies trifft für Licht sowie für strahlende Wärme zu. Eine sehr dünne Schicht von Bier (*pale ale*) ist fast ebenso farblos wie eine Schicht Wasser, die Absorption ist zu gering, um die entschiedene Färbung hervorzurufen, die grössere Mengen Ale zeigen. Ich giesse destillirtes Wasser in ein Trinkglas; es zeigt keine Spur von Farbe, aber ich habe ein Experiment vorbereitet, welches Ihnen zeigen soll, dass diese durchsichtige Flüssigkeit, in gehöriger Dicke angewandt, eine entschiedene Farbe hat. Hier ist eine 15 Fuss lange Röhre *AB* (Fig. 88 a. f. S.), die horizontal aufgestellt ist und deren Enden durch ebene Glasplatten geschlossen sind. An dem einen Ende der Röhre steht eine elektrische Lampe *L*, von der aus ein Lichtcylinder durch die Röhre gesendet werden soll. Sie ist jetzt halb mit Wasser angefüllt, und zwar so, dass die obere Fläche desselben die Röhre horizontal in zwei gleiche Theile theilt. So sende

ich die Hälfte meines Strahles durch die Luft, die andere Hälfte durch das Wasser und werfe mit dieser Linse *C* ein vergrössertes Bild des anliegenden Endes der Röhre

Fig. 88.



auf den Schirm. Sie sehen jetzt das Bild *OP*, das aus zwei Halbkreisen besteht, von denen der eine von dem Licht, das durch das Wasser geht, der andere von dem Licht, das durch die Luft geht, hervorgerufen wurde. So dicht neben einander können Sie sie vergleichen, und Sie werden bemerken, dass, während der Lufthalbkreis blendend weiss ist, der Wasserhalbkreis ein schönes und zartes Blaugrün zeigt. So machen wir die Farbe intensiver, wenn wir die Dicke vermehren, durch die das Licht strahlen soll. Dies beweist, dass die Zerstörung der Lichtstrahlen im absorbirenden Körper vor sich geht, und nicht nur eine Wirkung der Oberfläche ist.

356 Melloni beweist, dass dasselbe bei der strahlenden Wärme zutrifft. Bei seinen schon vorher beschriebenen Experimenten betrug die Dicke der benutzten Platten 2,6 Millimeter; wenn wir aber die Platten dünner machen, so ermöglichen wir einer grösseren Wärmemenge den Durchgang, und wenn wir eine sehr undurchlässige Masse genügend dünn machen, können wir fast die

Durchlässigkeit des Steinsalzes erreichen. Die folgende Tabelle zeigt den Einfluss der Dicke auf die Durchlässigkeit der Glasplatten.

Dicke der Platten in Millimetern.	Durchgelassene Wärmemenge durch Glasplatten von verschiedener Dicke: Procente der totalen Strahlung.			
	Locatelli'sche Lampe.	Weissglühendes Platin.	Kupfer 400° C. warm.	Kupfer 100° C. warm.
2,6	39	24	6	0
0,5	54	37	12	1
0,07	77	57	34	12

357. So sehen wir, dass wenn wir die Dicke einer Platte von 2,6 auf 0,07 Millimeter vermindern, die Menge der durchgelassenen Wärme zunimmt, bei der Locatelli'schen Lampe von 39 zu 77 Procent, beim weissglühenden Platin von 24 zu 57 Procent, beim 400° C. warmen Kupfer von 6 zu 34 Procent, und beim 100° C. warmen Kupfer von absoluter Undurchlässigkeit bis zur Durchstrahlung von 12 Procent.

358. Der Einfluss der Dicke einer Platte von Selenit (Gyps) auf die von ihr durchgelassene Wärmemenge ist in der Tabelle auf der folgenden Seite dargestellt:

Dicke der Platten in Millimetern.	Durchgelassene Wärmemenge durch Selenit von verschiedener Dicke: Procente der totalen Strahlung.			
	Locatelli'sche Lampe.	Weissglühendes Platin.	Kupfer 400°C. warm.	Kupfer 100°C. warm.
2,6	14	5	0	0
0,4	38	18	7	0
0,01	64	51	32	21

Diese Experimente beweisen wiederum, dass die Absorption der Wärme in den Körpern vor sich geht und nicht eine Wirkung der Oberfläche ist.

359. Die Zerlegung des Sonnenstrahles bringt das Sonnenspectrum hervor; es ist leuchtend in der Mitte, wärmend am einen Ende, chemisch wirkend am anderen. Die Sonne ist deshalb eine Quelle von verschiedenartigen Strahlen, und es kann kaum ein Zweifel sein, dass die meisten anderen leuchtenden, wie dunklen Wärmequellen an dieser Verschiedenartigkeit Theil haben. Im Allgemeinen werden, wenn solche gemischte Strahlen in eine diathermane Substanz eintreten, einige aufgefangen, andere durchgelassen. Nehmen wir an, dass wir ein Bündel von Wärmestrahlen haben, die schon durch eine diathermane Platte durchgegangen sind, und lassen sie auf eine zweite Platte desselben Stoffes fallen, so muss die Durchlässigkeit dieser zweiten Platte für die auf sie fallende Wärme grösser sein, als die Durchlässigkeit der ersten Platte für die auf diese letztere fallende Wärme. Ist die erste Platte genügend dick, so hat sie schon zum grossen Theil die Strahlen ausgelöscht, die die Substanz zu absorbiren ver-

mag, und die übrigbleibenden Strahlen gehen natürlich durch eine zweite Platte desselben Stoffes verhältnissmässig leicht hindurch. Der ursprüngliche Strahl ist von der ersten Platte „gesiebt“, und der geläuterte Strahl besitzt für denselben Stoff eine höhere durchdringende Kraft als der ursprüngliche Strahl.

360. Diese Kraft der Durchdringung ist gewöhnlich als ein Criterium für die Qualität der Wärme angenommen worden; man sagt, dass die Wärme des geläuterten Strahls in der Qualität verschieden von der des ungeläuterten Strahls sei. Es hat indess kein einzelner Strahl und keine Welle ihren Charakter verändert, aber von dem gesammten Strahl sind gewisse Theile fortgenommen worden. Fällt er nun auf eine zweite Substanz, so hat sich durch diese Entziehung das Verhältniss der einfallenden Wärme zur durchgelassenen geändert. Dies ist die eigentliche Bedeutung des Ausdrucks „Qualität“, wenn er auf strahlende Wärme angewendet wird. Werden in den Weg des Strahles einer Lampe nach einander 2,6 Millimeter dicke Platten von Steinsalz, Alaun, doppelt-chromsaurem Kali und Selenit gestellt, und fällt die aus diesen verschiedenen Platten austretende Wärme auf eine zweite Platte von derselben Dicke, so werden von je 100 Einheiten dieser Wärme folgende Mengen hindurchgelassen:

Steinsalz	92,3
Alaun	90
Chromsaures Kali	71
Selenit	91

361. Vergleichen wir dieses Resultat mit unserer ersten Tabelle, so finden wir, dass von der ganzen Wärme,

die die Locatelli'sche Lampe ausgestrahlt hat, nur 34 Procent durch chromsaures Kali durchgelassen wurden; hier finden wir 71 Procent. Von der ganzen Ausstrahlung lässt der Selenit nur 14 Procent durch, aber von dem Strahl, der durch eine Platte seiner eigenen Substanz geläutert worden ist, lässt er 91 Procent durch. Dieselbe Beobachtung trifft bei dem Alaun zu, der nur 9 Procent des ungeläuterten und 90 Procent des geläuterten Strahles durchlässt. Bei dem Steinsalz dagegen sind die Durchstrahlungen des geklärten und ungeklärten Strahles dieselben, weil die Substanz für Strahlen jeder Art gleich durchlässig ist *). Bei diesen Beispielen habe ich angenommen, dass der vom Steinsalz ausgehende Strahl durch Steinsalz geht; der vom Alaun ausgehende Strahl durch Alaun und so auch bei den anderen Stoffen; aber, wie zu erwarten ist, muss das Abklären des Strahles durch irgend eine Substanz das Verhältniss ändern, in welchem er von irgend einer anderen zweiten Substanz hindurchgelassen wird.

362. Ich will diese Betrachtungen mit einem Experiment beschliessen, das Ihnen den Einfluss des Abklärens des Strahles auf die augenscheinlichste Weise zeigen soll. Ich habe hier ein empfindliches Differential-Luftthermometer mit einer reinen Glaskugel. Sie sehen, die leiseste Berührung meiner Hand bewirkt ein Sinken der Flüssigkeitssäule im Thermometer. Hier ist unsere elektrische Lampe, und von ihr will ich einen mächtigen Strahl auf die Glaskugel dieses Thermometers fallen lassen. Der Brennpunkt fällt nun gerade in die Kugel und die Luft

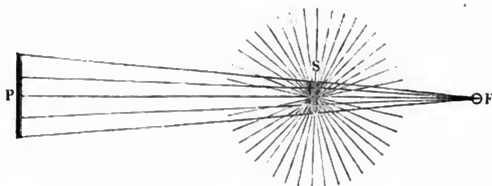
*) Dies war Melloni's Schlussfolgerung; die Versuche der Herren Provostaye, Desains und Balfour Stewart beweisen, dass dieser Schluss nicht ganz richtig ist.

in ihr wird von einem höchst intensiven Strahl durchschnitten; aber nicht die geringste Senkung der Flüssigkeitssäule ist sichtbar. Als ich dieses Experiment zum ersten Mal einer hier anwesenden Person zeigte, traute sie dem Zeugniss ihrer Sinne kaum; und doch ist die Erklärung einfach. Der Strahl ist schon, ehe er die Kugel erreicht, durch die zu seiner Concentration dienende Glaslinse geklärt, und nachdem er 12 oder 14 Fuss Luft durcheilt hat, besitzt er keine Bestandtheile mehr, welche merkbar durch die Luft in der Kugel absorbirt werden können. Daher geht der heisse Strahl durch Luft und Glas, ohne die eine oder das andere zu erwärmen. Er vermag indess die thermo-elektrische Säule zu erwärmen; wenn die Säule ihm auch nur einen Augenblick ausgesetzt wird, so genügt dies, um die Nadel lebhaft abzulenken. Ich will jetzt den Theil der Glaskugel, der von dem Strahl getroffen wird, mit Lampenruss schwärzen; Sie sehen den Erfolg; die Wärme wird jetzt absorbirt, die Luft dehnt sich aus und die Säule des Thermometers wird bedeutend herabgedrückt.

363. Wir benutzen gläserne Ofenschirme, weil sie das angenehme Licht des Feuers durchlassen, während sie die Wärme abhalten; der Grund davon ist, dass bei weitem der grösste Theil der vom Feuer ausgestrahlten Wärme dunkel ist, und für diese ist das Glas undurchlässig. Aber in keinem Falle tritt ein Verlust ein. Die von dem Glase absorbirte Wärme erwärmt es; die Bewegung der ätherischen Wellen wird hier den Molekülen des festen Körpers mitgetheilt. Sie könnten aber einwenden, dass unter diesen Umständen der Glasschirm selbst eine Wärmequelle werden müsste, und uns so die Absorption nichts nützen würde. Die Thatsache ist richtig, aber die Schlussfolgerung ist unbegründet. Die Wir-

kung des Schirms ist folgende: *F* (Fig. 89) möge ein Feuer sein, von dem die Strahlen in gerader Linie auf eine Person bei *P* fallen. Ehe der Schirm zwischengestellt war, folgte jeder Strahl seinem Wege direct nach *P*; jetzt wollen wir einen Schirm auf *S* stellen. Der Schirm fängt die Wärme auf und wird erwärmt; statt dass er aber die

Fig. 89.



Strahlen nur in ihrer ursprünglichen Richtung hindurch lässt, so strahlt er sie, als ein warmer Körper, nach allen Richtungen hin aus. Daher kann er der Person in *P* nicht alle von ihm aufgefangene Wärme wiedergeben. Ein Theil der Wärme wird zurückerstattet, aber bei weitem der grössere Theil ist von *P* abgelenkt und nach anderen Richtungen zerstreut.

364. Den Körpern, in welchen die Wellen ihren Weg ohne Absorption verfolgen, wird keine Wärmebewegung mitgetheilt, wie wir bei dem Luftthermometer gesehen haben. Ein Stück Fleisch kann an dem Feuer gebraten werden, und die Luft um das Stück kann kalt wie Eis sein. Die Luft auf den hohen Bergen kann durchdringend kalt sein, während die Sonne glühend über dem Haupte brennt; wenn die Sonnenstrahlen auf die menschliche Haut fallen, so können sie fast unerträglich sein und dennoch sind sie unfähig, die Luft merklich zu erwär-

men, und wir brauchen uns nur in den vollkommenen Schatten zurückzuziehen, um das Eisige der Atmosphäre zu empfinden. Ich habe niemals so von der Sonnenhitze gelitten, als beim Hinuntergehen vom „Corridor" auf das Grand Plateau des Mont Blanc am 13. August 1857; obgleich wir damals bis zu den Hüften im Schnee waren, brannte die Sonne mit unerträglicher Gluth auf meinen Gefährten und mich. Beim Hineintreten in den Schatten des Dôme du Gouté veränderten sich sogleich meine Empfindungen; die Luft hatte hier eine eisige Temperatur. Sie war indess nicht merklich kälter als die Luft, durch die die Sonnenstrahlen gingen, und ich litt nicht durch die Berührung der heissen Luft, sondern durch die strahlende Wärme, die mich durch ein eiskaltes Medium getroffen hatte.

365. Die Sonnenstrahlen durchdringen das Glas, ohne es besonders zu erwärmen; der Grund davon ist der, dass, nachdem die Wärme durch unsere Atmosphäre gegangen ist, ihr zum grossen Theil die Strahlen entzogen sind, die vom Glase absorbirt werden können *). Ich stellte früher einen Versuch an, den Sie jetzt vollständig verstehen werden. Ich liess einen Strahl der elektrischen Lampe durch die Platte Eis fallen, ohne es zu schmelzen. Ich hatte vorher den Strahl geklärt, indem ich ihn durch ein Gefäss mit Wasser fallen liess, in dem die Wärme, die das Eis absorbiren konnte, festgehalten wurde und zwar so reichlich festgehalten wurde, dass das Wasser bei dem

*) Nach Gründen a priori möchte ich schliessen, dass die dunkeln Sonnenstrahlen, welche durch unsere Atmosphäre hindurch gegangen sind, die Flüssigkeiten des Auges zu durchdringen und die Retina zu erreichen vermögen; die neueren Experimente des Herrn Franz bestätigen dies. Ihre Unfähigkeit, einen Lichteindruck hervorzurufen, ist also nicht ihrer Absorption durch die Flüssigkeiten des Auges zuzuschreiben, sondern ihrer eigenen, eigenthümlichen Unfähigkeit, die Retina zu erregen.

Versuche fast den Siedepunkt erreichte. Es verlohnt sich der Mühe, hier zu bemerken, dass das flüssige Wasser und das feste Eis gleich durchgängig und gleich undurchgängig für dieselben Strahlen zu sein scheinen; das eine kann als ein Sieb für das andere benutzt werden; ein Resultat, das in diesem Falle anzeigt, dass die Qualität der Absorption nicht durch den Unterschied des Aggregatzustandes zwischen dem festen und flüssigen Körper beeinflusst wird. Es ist leicht zu beweisen, dass der Strahl, der durch Eis gegangen ist, ohne es zu schmelzen, wirklich ein Wärmestrahl war. Wenn wir ihn auf unsere thermo-elektrische Säule fallen lassen, so bringt er eine so grosse Wirkung auf das Galvanometer hervor, dass die Nadel sich heftig bis zu ihren Hemmungen bewegt.

366. Wenn die Wärmestrahlen aufgefangen werden, so erhöhen sie im Allgemeinen die Temperatur des Körpers, der sie absorbirt; wenn aber der absorbirende Körper Eis von der Temperatur 0° C. ist, so kann unmöglich seine Temperatur steigen. Was bewirkt nun die vom Eis absorbirte Wärme? Sie erzeugt eine innere Schmelzung, sie nimmt die Krystallatome auseinander und bildet so diese reizenden flüssigen Blumen, die ich Ihnen bei einer früheren Gelegenheit zeigte *).

367. Wir haben gesehen, dass die Durchsichtigkeit durchaus kein Maassstab für die Diathermansie ist, dass ein Körper, der für die leuchtenden Wellen sehr durchsichtig ist, für die nichtleuchtenden sehr undurchlässig sein kann. Ich habe Ihnen auch gezeigt, dass ein Körper für Licht vollkommen undurchsichtig, und doch in ziemlich hohem Grade für Wärme durchlässig sein kann.

*) In Betreff dieser Resultate bei Wasser und Wasserblasen im Eis siehe Anhang zum 9. Kapitel.

Hier ist ein anderes Beispiel derselben Art. Ich setze die elektrische Lampe in Thätigkeit, und Sie sehen diesen convergirenden Lichtkegel, der sich durch den Staub des Zimmers zieht, Sie sehen den Punkt, in dem derselbe sich vereint, 15 Fuss von der Lampe entfernt; ich will diesen Punkt genau durch das Ende dieses Stabes bezeichnen. Diese Steinsalzplatte hier ist so dick mit Russ bedeckt, dass jedes Licht, nicht nur das von jeder Gaslampe dieses Zimmers, sondern auch das elektrische Licht selbst, von ihm nicht durchgelassen wird. Ich bringe diese berusste Salzplatte in den Weg des Strahles; das Licht wird abgefangen, aber der Stab erlaubt mir, mit meiner Säule die Stelle zu finden, wohin der Focus fiel. Ich stelle meine Säule in den Focus; Sie sehen keinen Strahl hinauffallen, aber die lebhafte Bewegung der Nadel verräth dem geistigen Auge augenblicklich einen Wärmefocus an der Stelle, der das Licht entzogen worden ist.

368. Sie möchten vielleicht denken, dass die auf die Säule fallende Wärme zuerst von dem Russ absorbirt wurde und dann von ihm wie von einer unabhängigen Quelle weitergestrahlt worden ist. Melloni hat jeden Einwurf dieser Art beseitigt; aber ich glaube, keiner seiner Versuche ist entscheidender, um diesen Einwurf abzuwehren, als der, den ich Ihnen jetzt gezeigt habe. Wäre das berusste Salz die Quelle, so könnten sich die Strahlen nicht hier im Brennpunkt vereinigen, da das Salz auf dieser Seite der Sammellinse sich befindet. Sie sehen auch, dass, wenn ich meine Säule etwas seitlich verschiebe, wobei ich sie aber immer nach dem russigen Salz gekehrt halte, die Nadel auf Null sinkt. Ueberdies ist die Wärme, die auf die Säule fällt, wie Melloni gezeigt hat, gänzlich unabhängig von der Stellung der Steinsalzplatten. Sie können den Strahl in einer Entfernung

von 15 Fuss oder von 1 Fuss von der Säule auffangen, das Resultat ist dasselbe, und das könnte nicht der Fall sein, wenn das berusste Salz selbst die Wärmequelle wäre.

369. Ich mache mit diesem schwarzen Glase einen ähnlichen Versuch und das Resultat ist, wie Sie sehen, dasselbe. Das Glas reflectirt eine bedeutende Menge des Lichts und der Wärme von der Lampe; halte ich es etwas schräg gegen den Strahl, so können Sie den zurückgeworfenen Theil sehen. Während das Glas in dieser Lage ist, will ich es mit einem undurchsichtigen Ueberzug von Lampenruss bedecken, und es dadurch nöthigen, nicht nur alle die Strahlen zu absorbiren, die jetzt hineinfallen, sondern auch den Theil, den es vorher zurückwarf. Was ist der Erfolg? Obgleich die Glasplatte jetzt mehr Wärme absorbirt, so hat sie doch aufgehört, die Säule zu afficiren und die Nadel sinkt auf Null, und giebt uns so noch einen neuen Beweis, dass die Wärme, welche im ersten Fall auf die Säule wirkte, direct von der Lampe kam und das schwarze Glas durchstrahlte, wie Licht eine durchsichtige Substanz durchstrahlt.

370. Das Steinsalz lässt alle Strahlen durch, leuchtende und dunkle; Alaun von der schon angegebenen Dicke lässt nur die leuchtenden Strahlen durch*); so muss die Differenz zwischen Alaun und Steinsalz den Werth der dunkeln Ausstrahlung angeben. Auf diese Weise findet Melloni die folgenden Verhältnisse der leuchtenden zu den dunkeln Strahlen für die drei angeführten Quellen:

*) Neuere Versuche haben bewiesen, dass dies nicht richtig sei.

Quelle.	Leuchtend.	Dunkel.
Oelflamme	10	90
Weissglühendes Platin	2	98
Weingeistflamme	1	99

So kommen von der Wärme, die die Flamme des Oeles ausstrahlt, 90 Procent, von der vom weissglühenden Platin ausgestrahlten Wärme 98 Procent auf die dunkeln Strahlen, während von der, von der Flamme des Weingeistes ausgestrahlten Wärme volle 99 Procent auf die dunkeln Ausstrahlungen kommen.

Anhang zum neunten Kapitel.

Auszug aus einem Aufsatz über einige physikalische Eigenschaften des Eises.

§. 1.

Ich benutzte das schöne, sonnige Wetter, das uns im September und October begünstigte, um die Wirkung der Sonnenwärme auf das Eis zu untersuchen. Die Versuche wurden mit Eis von Wenham Lake und Norwegen gemacht. Es wurden dünne Stücke von einem bis mehrere Zoll Dicke aus der Masse geformt, und diese in den Weg des Strahles gebracht, der durch eine biconvexe Linse von 4 Zoll Durchmesser und $10^1/_2$ Zoll Brennweite verdichtet worden war.

Die Stücke wurden gewöhnlich so gestellt, dass der Brennpunkt der parallelen Strahlen in das Eis fiel. Nachdem die Lage des Brennpunktes in der Luft gefunden worden war, wurde die Linse durch einen Schirm bedeckt; das Eis wurde an seine Stelle gebracht, der Schirm fortgenommen und die Wirkung durch eine gewöhnliche Lupe beobachtet.

Zuerst wurde ein Stück Eis von 1 Zoll Dicke und parallelen Seitenflächen untersucht; so wie der Schirm hinweggenommen war, traten die Sonnenstrahlen in die durchsichtige Masse ein und ihre Bahn war daselbst sogleich mit einer grossen Menge kleiner leuchtender Flecke gesprenkelt, die im Augenblick hervorgerufen waren und glänzenden Luftblasen glichen. Fiel der Strahl durch den Rand der Scheibe, so dass

er eine ziemliche Eisdicke durchschneiden musste, so konnte seine Bahn durch diese glänzenden Flecke verfolgt werden, wie man sie in einem dunkeln Zimmer durch die schwebenden Sonnenstäubchen verfolgen kann.

Im Seeeis werden die Ebenen des Gefrierens leicht durch die Schichtung erkannt, welche durch die Vertheilung der Luftblasen in der Masse hervortritt. Ein Würfel wurde aus einem vollkommen durchsichtigen Stück Eis geschnitten und der Sonnenstrahl abwechselnd durch den Würfel in drei aufeinander rechtwinkligen Richtungen geleitet. Die eine war senkrecht auf der Ebene des Gefrierens und die beiden anderen ihr parallel. Die glänzenden Blasen wurden in allen drei Fällen im Eise gebildet.

Wenn die Oberflächen, welche senkrecht auf den Ebenen des Gefrierens standen, durch die Linse untersucht wurden, nachdem sie dem verdichteten Strahl ausgesetzt gewesen waren, so fand man sie von unzähligen kleinen parallelen Spalten durchschnitten, von denen hier und da winzige Sporen ausstrahlten, die den Spalten an einigen Stellen ein gefiedertes Aussehen gaben.

Wenn die Theile des Eises, die parallel der Oberfläche des Gefrierens von dem Strahl durchschnitten worden waren, untersucht wurden, so zeigte sich eine sehr schöne Erscheinung. Fiel Licht vom Fenster in einem geeigneten Winkel auf das Eis, so fand man das Innere der Masse mit kleinen blumenähnlichen Figuren angefüllt. Jede Blume hatte sechs Blumenblätter und in der Mitte war ein glänzender Fleck, der mit mehr als metallischem Glanze leuchtete. Die Blumenblätter waren augenscheinlich flüssiges Wasser und in Folge dessen matt, da ihre Sichtbarkeit von der kleinen Differenz der Brechbarkeit zwischen Eis von 0° C. und von Wasser bei derselben Temperatur abhängt.

Eine lange Zeit hindurch fand ich die Beziehung zwischen den Ebenen dieser Blumen und den Ebenen des Gefrierens vollkommen constant. Sie waren einander immer parallel. Die Entwicklung der Blumen war von der Richtung unabhängig, in der der Strahl durch das Eis fiel. Daher konnte ich

augenblicklich die Richtung angeben, in der ein unregelmässig geformtes Stück durchsichtigen Eises gefroren war, wenn ich einen Sonnenstrahl hindurchfallen liess.

Wenn der Strahl durch den Rand einer Eisscheibe fiel und die letztere in einem rechten Winkel zum Strahl verschoben wurde, so dass die strahlende Wärme nach einander verschiedene Theile des Eises durchschnitt, und man nun den Weg des Strahles durch eine Lupe beobachtete, so war das Eis, das den Augenblick vorher optisch gleichförmig war, sogleich von diesen kleinen leuchtenden Flecken übersäet, und rings um jeden von ihnen konnte man die Bildung und das Wachsen der zugehörigen Blume genau beobachten.

Die grösste Wirkung war auf einen Raum beschränkt, der sich ungefähr auf einen Zoll weit von dem Orte erstreckte, wo der Strahl zuerst das Eis traf. In diesem Raum geschah zum grossen Theil die Absorption, die das Eis in flüssige Blumen verwandelte, aber ich habe die Wirkung selbst bis zu einer Tiefe von mehreren Zollen in grossen Eisblöcken verfolgt.

In einiger Entfernung vom Punkte des Auffalls wurden indess die Zwischenräume zwischen den Blumen grösser, und es war nicht ungewöhnlich, dass Blumen in Ebenen von $^1/_4$ Zoll Entfernung entwickelt waren, während in dem Eise zwischen diesen Ebenen keine Veränderung zu beobachten war.

Die Eisstücke, mit denen die Versuche angestellt wurden, schienen ganz homogen zu sein und ihre Durchsichtigkeit war sehr vollkommen. Warum gab also die Masse an einzelnen besonderen Punkten nach? Waren es schwache Punkte in der krystallinischen Bildung, oder hing diese Nachgiebigkeit von der Art ab, in der die Wärmewellen auf die Moleküle des Körpers an diesen Punkten anstiessen? Wie auch diese und andere Fragen beantwortet werden mögen, jedenfalls haben die Versuche eine nicht geringe Bedeutung für die Theorie der Absorption. Die Absorption, die im Eis die Blume schafft, ist sprungweise und nicht ununterbrochen; und es liegt kein Grund vor anzunehmen, dass in anderen festen Massen nicht das-

selbe stattfinde, obgleich man es wegen ihrer besonderen Constitution nicht beobachten kann *).

Ich habe den Namen „Blasen“ den kleinen glänzenden Scheiben in der Mitte der Blumen nur darum gegeben, weil sie den kleinen im Eise eingeschlossenen Luftkugeln gleichen; aber nur das Experiment konnte entscheiden, ob sie Luft enthielten oder nicht.

Es wurden also die Strahlen durch verschiedene Eisstücke geleitet, so dass sich in ihnen die Blumen in grosser Menge und Schönheit entwickelten. Diese Stücke wurden dann in ein Glasgefäss voll warmem Wasser getaucht, und die Wirkung des Schmelzens, wenn es sich den glänzenden Flecken näherte, wurde genau durch die Lupe beobachtet. Im Moment, wo sich zwischen den Höhlungen und der Atmosphäre eine flüssige Verbindung herstellte, fielen die Blasen plötzlich zusammen und keine Spur von Luft stieg zur Oberfläche des warmen Wassers empor.

Dieser Erfolg war zu erwarten. Da das Volumen des Wassers bei 0° C. geringer ist, als das des Eises bei derselben Temparatur, so muss die Bildung jeder Blume von der Bildung eines Vacuums begleitet sein, welches in der beschriebenen Weise verschwindet, wenn das umgebende Eis schmilzt.

Aehnliche Versuche wurden mit Eis angestellt, in dem wirkliche Luftblasen eingeschlossen waren. Wenn das Schmelzen die Luft befreite, so stiegen die Blasen langsam durch die Flüssigkeit herauf und schwammen eine Zeit lang auf ihrer Oberfläche.

Es war genügend, das Eis nur eine Secunde oder noch kürzere Zeit der Thätigkeit der Sonne auszusetzen, um Blumen in demselben zu bilden. Das erste Erscheinen des mittleren

*) Trotz der unvergleichlichen Diathermansie der Masse findet Herr Knoblauch, dass wenn Platten von Steinsalz dick genug sind, sie immer eine wählerische Absorption zeigen. Wirkungen, wie die oben beschriebenen, können möglicher Weise der Grund davon sein.

Lichtsterns war oft von einem deutlichen Geklirr begleitet, als ob die Masse plötzlich zerbrochen würde. Anfangs waren die Ränder der Blumenblätter entschieden gebogen, wenn aber die Wirkung fortschritt, und selbst oft ohne dies, wenn die Sonne mächtig war, so wurden die Ränder der Blumenblätter gesägt und die Schönheit der Figur dadurch vermehrt.

Zuweilen gruppirte sich eine Anzahl elementarer Blumen zusammen, ein dickbeblättertes Büschel bildend, welches einer Rose glich. Hier und da konnte man zwischen den Blumen ein flüssiges Sechseck beobachten, indess nur selten.

Die krystallinische Zerschneidung, wenn ich den Ausdruck brauchen darf, die so die Sonnenstrahlen hervorrufen, ist offenbar durch die Art bestimmt, in der die krystallinischen Kräfte die Moleküle geordnet haben. Durch die Entziehung von Wärme sind die Moleküle befähigt sich zusammen aufzubauen, durch die Einführung von Wärme wird ihre Architektur eingerissen. Die vollkommene Symmetrie der Blumen, von der keine Abweichung stattfindet, lässt auf eine gleiche Symmetrie in der molekularen Architektur schliessen; da die optischen Erscheinungen auf molekularer Anordnung beruhen, können wir nach den vorhergegangenen Versuchen mit vollkommener Sicherheit aussprechen, dass das Eis optisch einaxig ist, wie es Sir David Brewster schon vor langer Zeit bewiesen, und dass seine Axe senkrecht auf der Oberfläche des Gefrierens steht.

§. 2.

Als ich am 25. September ein vollkommen durchsichtiges Stück norwegischen Eises untersuchte, das noch nicht von verdichteten Sonnenstrahlen durchschnitten worden war, fand ich das Innere der Masse mit parallelen flüssigen Scheiben angefüllt, deren Durchmesser von $^1/_{10}$ bis $^1/_{100}$ Zoll schwankte. Diese Scheiben waren so dünn, dass, wenn man sie im Querschnitt sah, sie nur die feinsten Linien bildeten. Sie sahen genau so aus, wie runde Flecke von öligem Schaum, der auf der Oberfläche von Hammelbrühe schwimmt, und in den zu-

erst untersuchten Eisstücken lagen sie immer in den Gefrierebenen.

Mit der Zeit schien dieses innere Zerfallen des Eises mehr hervorzutreten, so dass einige, in der Mitte des November untersuchte Eisstücke aus Norwegen auf eine Ansammlung von Wasserzellen reducirt zu sein schienen, die in ein Gerippe von Eis eingelagert waren. Diese Wirkung wurde für die Hand fühlbar durch die Leichtigkeit, mit der die Säge durch einen solchen Eisblock ging, als man ihn durchschneiden wollte.

Es scheint, als gäbe es keine absolute Gleichartigkeit in der Natur. Der Wechsel in der Structur beginnt bei deutlichen Centralpunkten, statt sich gleichmässig und ununterbrochen auszubreiten, und in scheinbar ganz gleichartigen Massen würden wir Lücken entdecken, wenn unsere Mittel zur Untersuchung genau genug wären. Die obigen Beobachtungen zeigen, dass einige Theile einer Eismasse leichter schmelzen als andere. Der Schmelzpunkt des Eises ist auf 0° C. festgesetzt, da aber die vollkommene Gleichartigkeit fehlt, sei es durch Verschiedenheit des krystallinischen Gefüges oder durch irgend sonst eine Ursache, so schwankt der Schmelzpunkt des Eises zu beiden Seiten des normalen Punktes innerhalb kleiner Grenzen. Wir wollen diese Grenze, in Theilen eines Grades ausgedrückt, t nennen. Einige Theile des Eisblockes werden bei einer Temperatur von $-t$ schmelzen, während andere einer Temperatur von $+t$ bedürfen; daraus folgt dann, dass eine solche Eismasse, bei der Temperatur von 0° C. an einigen Stellen flüssig, an anderen starr sein wird.

Wenn eine Masse, die die Wasserscheiben zeigte, durch einen verdichteten Sonnenstrahl untersucht wurde, so waren die vorher angeführten sechsblätterigen Blumen s t e t s i n d e n E b e n e n d e r W a s s e r s c h e i b e n g e b i l d e t.

* * *

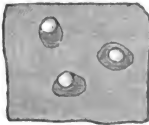
§. 3.

Unsere bisherigen Mittheilungen bereiten uns auf die Beobachtung einer verwandten Classe von Erscheinungen vor, die von grossem physikalischen Interesse sind. Die grösseren

von mir untersuchten Eismassen zeigten Schichten, in denen Luftblasen in ungewöhnlicher Menge angesammelt waren, wodurch sie ohne Zweifel die Grenzen der auf einander folgenden Vorgänge des Gefrierens anzeigten. Diese Blasen waren gewöhnlich länglich. Zwischen zwei solchen Blasenlagen war ein klarer Eisstreifen; und eine klare Schicht auf der Oberfläche, die nach ihrem Aussehen mehr von den äusseren Einflüssen als das übrige Eis gelitten hatte, war mit jedem Block verbunden. In diesem oberen Theil beobachtete ich losgelöste Luftblasen, die unregelmässig vertheilt waren, und mit jeder war ein Wassertropfen verbunden, der wie ein Tropfen klaren Oels in der festen Masse aussah. Fig. 90 giebt ein Bild dieser zusammengesetzten Höhlungen: der unschattirte Kreis ist die Luftblase, der schattirte Raum daneben das Wasser.

War die Wassermenge genügend gross, was gewöhnlich der Fall war, so veränderte die Blase ihre Lage, wenn das Eis umgedreht wurde, indem sie immer an das oberste Ende der Höhlung stieg. Bisweilen aber war die Zelle sehr flach, und dann war die Luft ganz von der flüssigen Masse umgeben. Diese zusammengesetzten Zellen kommen oft im durchsichtigen Eise vor, das innen noch kein anderes Zeichen von Zerfallen zeigt.

Fig. 90.



Das ist offenbar dieselbe Erscheinung, die Herrn Agassiz bei seinen ersten Untersuchungen des Aargletschers so sehr auffiel. Dieselben Erscheinungen sind von den Herren Schlagintweit beschrieben worden und zuletzt ist durch einen Aufsatz des Herrn Huxley in dem „Philosophical Magazine“ die Aufmerksamkeit ganz besonders auf diesen Gegenstand gelenkt worden *).

Die einzige Erklärung, die dieser Erscheinung bis jetzt geworden ist und die ohne Weiteres angenommen wurde, ist von den Herren Agassiz und Schlagintweit gegeben worden. Diese Beobachter schreiben die Erscheinungen der Diathermansie des Eises zu, in Folge deren die strahlende Wärme

*) October 1857.

durch das Eis hindurchgeht und die Luftblasen in demselben erwärmt, welche dann das sie umgebende Eis schmelzen *).

Die scheinbare Einfachheit dieser Erklärung trug viel zu ihrer allgemeinen Annahme bei, und doch glaube ich, dass sich derselben bei einigem Nachdenken grosse Schwierigkeiten entgegenstellen.

Um verständlicher zu sein, will ich hier auf eine sehr interessante Thatsache zurückkommen, die zuerst von Herrn Agassiz, später von den Herren Schlagintweit beobachtet wurde. In dem „Système Glaciaire“ ist sie mit folgenden Worten beschrieben: „Ich muss noch eine eigenthümliche Eigenschaft dieser Luftblasen erwähnen, die uns erst sehr überraschte, nachher aber eine sehr befriedigende Erklärung gefunden hat. Wenn ein Stück Eis, das Luftblasen enthält, dem Einfluss der Sonne ausgesetzt wird, so wachsen die Blasen sehr langsam. Bald, im Verhältniss zu ihrer Vergrösserung, zeigt sich ein durchsichtiger Tropfen an irgend einem Punkte der Blase. Dieser Tropfen dehnt sich aus und trägt seinen Theil zur Vergrösserung der Höhlung bei, und wenn man sein Wachsen verfolgt, so überwiegt er schliesslich die Luftblase. Die letztere schwimmt dann in der Mitte einer Wasserzone und sucht unaufhörlich den höchsten Punkt zu erreichen, wenn die Höhle nicht zu flach ist, um es zu verhindern.“

Die befriedigende Erklärung, von der hier die Rede ist, ist die vorher besprochene; wir wollen jetzt die Hypothese in ihren Folgen betrachten.

Wenn wir ein gleiches Gewicht beider Substanzen vergleichen, so ist die specifische Wärme des Wassers 1, die der Luft 0,25. So muss also, um die Temperatur eines Pfundes Wasser um einen Grad zu erhöhen, ein Pfund Luft vier Grad verlieren.

---

*) „Il est évident pour quiconque a suivi le progrès de la physique moderne, que ce phénomène est dû uniquement à la diathermanéité de la glace.“ (Agassiz, Système, p. 157.)

„Das Wasser ist dadurch entstanden, dass die Luft Wärmestrahlen absorbirte, welche das Eis, als diathermaner Körper, durchliess.“ (Schlagintweit, Untersuchungen, S. 17.)

Vergleichen wir nun die gleichen Volumina der Substanzen. Wenn das specifische Gewicht des Wassers 1 ist, so ist das der Luft $^1/_{770}$; so hat ein Pfund Luft das 770fache Volum eines Pfundes Wasser, es muss also eine Luftmenge, um ihr eigenes Volum Wasser um einen Grad zu erwärmen, 770 × 4 oder 3080 Grade verlieren.

Nun ist die latente Wärme des Wassers 79,2° C., daher ist die Wärmemenge, durch die ein gewisses Gewicht Eis geschmolzen wird, 79,2 mal so gross als die Menge, welche erforderlich ist, um das gleiche Gewicht Wasser um einen Grad zu erwärmen; daher muss ein Luftvolum, um ein gleiches Volum Eis in den flüssigen Zustand überzuführen, 3080 mal 79,2 oder 243936 Celsius-Grade verlieren.

Dieses giebt nun einen Begriff von der Wärmemenge, die nach der obigen Hypothese von der Blase absorbirt und dem Eise mitgetheilt werden muss, wenn in derselben Zeit eine der Blase an Volum gleiche Eismenge schmelzen soll; wäre nämlich die von der Luft absorbirte Wärmemenge dem Eise nicht mitgetheilt worden, so hätte sie genügt, um die Blase auf eine Temperatur zu bringen, die 88 mal höher ist als die des geschmolzenen Gusseisens. Hätte die Luft diese absorbirende Kraft, so könnten den Bewohnern der Erde sehr unbequeme Folgen daraus entstehen; denn wir würden auf dem Grunde eines atmosphärischen Oceans wohnen, dessen obere Schicht sicher alle Wärmestrahlung aufhalten würde.

Es ist durch die Versuche von Delaroche und Melloni bewiesen, dass ein Wärmestrahl, der von einem Medium ausgeht, das er schon auf eine Strecke durchschnitten hat, in erhöhtem Grade die Kraft besitzt, durch eine weitere Länge derselben Substanz zu gehen. Die Absorption tritt zum grossen Theil in dem Theile des Mediums ein, das zuerst von den Strahlen durchschnitten wird. Bei einer Glasplatte z. B. werden $17^1/_2$ Procent der von einer Lampe ausgestrahlten Wärme im ersten Fünftel eines Millimeters absorbirt; während, nachdem die Strahlen durch 6 Millimeter der Substanz gegangen sind, eine folgende Schicht von 2 Millimeter Dicke weniger als 2 Procent von den so durchgelassenen Strahlen absorbirt.

Nehmen wir an, dass die Strahlen durch eine 25 Millimeter oder einen Zoll dicke Platte gegangen sind, so unterliegt es keinem Zweifel, dass die Wärme, die eine solche Platte verlässt, durch eine zweite Schicht Glas von 1 Millimeter Dicke ohne messbare Absorption hindurchgehen würde. Um so viel mehr müsste die Menge der Sonnenwärme, die von einer Luftblase auf der Oberfläche der Erde absorbirt wird, nachdem die Strahlen die ganze Schicht unserer Atmosphäre durchschnitten haben und auf ihrem Wege „gesiebt“ worden sind, vollkommen verschwindend sein.

Wenn ich nicht irre, sind das die Eigenschaften der strahlenden Wärme, welche die neuere Physik enthüllt hat, und ich denke, sie beweisen überführend, dass die Hypothesen der Herren Agassiz und Schlagintweit ohne genügende Rücksicht auf ihre Folgen angenommen worden sind.

* * *

§. 4.

Aber die Frage bleibt uns noch zu lösen, wie entstehen die Wasserkammern im Eise? . . . Ein einfacher Versuch kann wohl die Frage entscheiden, ob die Flüssigkeit das Product des geschmolzenen Eises ist oder nicht ist. Wenn ersteres der Fall ist, so muss ihr Volum geringer sein als das des Eises, aus dem sie entstand, und die mit dem Wasser verbundene Blase muss aus verdünnter Luft bestehen. So muss, wenn eine flüssige Verbindung zwischen der Blase und der Atmosphäre hergestellt ist, eine Abnahme des Volums beobachtet werden, und dieses würde beweisen, dass das Wasser durch das Schmelzen des Eises erzeugt worden ist.

Ich schnitt ein Prisma aus einem Eisblock aus Norwegen, der solche zusammengesetzte Blasen enthielt, tauchte es in warmes Wasser, das in einem Glasgefässe enthalten war, und beobachtete durch die Seitenwände des Gefässes aufmerksam die Wirkung des Schmelzens auf die Blasen. Sie verringerten ohne Ausnahme ihr Volum in dem Augenblicke, wo das sie umgebende Eis geschmolzen war, und die verkleinerte Luftblase stieg an die Oberfläche des

Wassers. Ich richtete es dann so ein, dass die untere Wand der Höhlung abgeschmolzen werden konnte, ohne dass es der Luftblase möglich war, nach oben zu entweichen. In dem Augenblicke, wo das Schmelzen die Höhlung erreichte, fiel die Luftblase plötzlich zu einer Kugel zusammen, die in manchen Fällen kaum den hundertsten Theil ihres ersten Volums ausmachte. Die Versuche wurden mit mehreren verschiedenen Eismassen wiederholt, aber immer mit demselben Erfolge. Ich glaube daher als gewiss annehmen zu können, dass die flüssigen Zellen das Product des geschmolzenen Eises sind *).

Wenn wir die Art betrachten, in der das Eis, das bei uns von ausserhalb eingeführt wird, vor den Sonnenstrahlen geschützt wird, so müssen wir wohl daraus folgern, dass bei den von mir untersuchten Exemplaren das Eis, welches mit den Blasen in Berührung war, durch Wärme geschmolzen worden ist, die durch die Masse ohne sichtbaren Nachtheil für ihre Festigkeit hindurchging.

So paradox dies auch scheinen mag, so kann man doch wohl von Betrachtungen a priori vernünftiger Weise nicht mehr erwarten. Die Wärme eines Körpers wird heutigen Tages auf eine Bewegung seiner Theilchen zurückgeführt. Wenn diese Bewegung eine genügende Intensität erreicht, um die gegenseitige Anziehung der Theilchen eines festen Körpers zu vernichten, so geht der Körper in den flüssigen Zustand über. Was nun die Bewegungsmenge anbetrifft, die nöthig wäre, diese „Freiheit der Liquidität“ hervorzurufen, so müssen sich die Theilchen auf der Oberfläche der Eismasse sehr verschieden von denen im Inneren verhalten, die auf allen Seiten von anderen Theilchen beeinflusst und beherrscht werden. Nehmen wir aber an, dass eine Höhlung in der Masse ist, so befinden sich die, die Höhlung umgebenden Moleküle in einem ähnlichen mechanischen Zustand, wie die an der Oberfläche, und sie werden, da von einer Seite alle Gegenwirkung aufhört, durch eine Kraft frei gemacht, welche die umgebende Masse

*) Dieses bezieht sich selbstverständlich nur auf das Seeeis, das auf die beschriebene Art untersucht worden ist.

ohne Nachtheil für ihre Festigkeit durchgelassen hat. Nehmen wir z. B. an, dass die Festigkeit nur bis zu einer gewissen Elongation der molecularen Schwingungen fortbesteht, so können die Molecüle an der Oberfläche der inneren Höhlung diese Grenze überschreiten, während die Molecüle zwischen der Höhlung und der äusseren Oberfläche des Eises durch ihre gegenseitige Wirkung innerhalb der Grenze verbleiben, gerade wie bei der Fortpflanzung der Bewegung durch eine Reihe elastischer Kugeln die letzte Kugel abfliegt, während die übrigen keine sichtbare Trennung erfahren *).

Wir sollten jedoch, wo wir einen Versuch anstellen können, nie der Speculation vertrauen; ich war deshalb besonders bemüht, eine unzweideutige Antwort auf die Frage zu erhalten, ob ein innerer Theil einer Eismasse durch die Wärme geschmolzen werden könnte, welche durch die Substanz vermittelst des Processes der Leitung hindurchgegangen war. Ein Stück norwegisches Eis, das eine grosse Menge von den eben beschriebenen flüssigen Scheiben und mehrere Zellen von Wasser und Luft enthielt, wurde in Stanniol eingewickelt und in eine Mischung von gestossenem Eis und Salz gethan. Wenige Minuten genügten, um die Scheiben zu dünnen, dunkeln Kreisen gefrieren zu machen, die in einzelnen Fällen aus concentrischen Ringen gebildet zu sein schienen, und die mich an die Durchschnitte einzelner Agate erinnerten. Von der Seite gesehen, waren diese Scheiben nicht dicker als eine feine Linie. Die Wasserzellen waren auch gefroren und die zugehörigen Luftblasen hatten an Grösse sehr abgenommen. Ich stellte die Eismasse zwischen mich und eine Gasflamme und beobachtete sie durch eine Lupe; nach einiger Zeit schienen die Scheiben und Wasserzellen aufthauen zu wollen. Die Ringe der Scheiben verschwanden; der Inhalt schien sich zusammenzufügen, so dass er grössere flüssige Flecke bildete, und endlich wurden einige von ihnen wieder zu klaren durchsichtigen Scheiben, wie vorher.

Ein Einwurf gegen dies Experiment ist indess der, dass das Eis durch die Ausstrahlung der Lampe flüssig geworden

*) Natürlich glaube ich hierdurch nur das Verständniss zu erleichtern.

sein könnte, und ich kann Versuche anführen, die die Richtigkeit dieses Einwurfs zeigen werden. Ein rechteckiges Stück, 1 Zoll dick, 3 Zoll lang und 2 Zoll breit, wurde von einem Stücke norwegischen Eises genommen, in dem die verbundenen Luft- und Wasserzellen sehr deutlich waren. Ich hüllte es in Stanniol und legte es in eine Kältemischung. In ungefähr 10 Minuten waren die Wasserblasen vollkommen in der Masse gefroren. Es wurde sogleich in ein dunkles Zimmer gebracht, wo die strahlende Wärme es unmöglich treffen konnte, und ich untersuchte es alle Viertelstunden. Die trüben, gefrorenen Flecke thauten allmählich zu kleinen Wassertheilchen auf, und nach 2 Stunden waren die Wasserblasen in der Mitte des Eisstückes vollkommen wieder hergestellt. Als ich die Platte zuletzt untersuchte, war sie einen halben Zoll dick und die Flüssigkeitstropfen zeigten sich in ihrer Mitte.

Ein zweites Stück, das in ähnlicher Weise erstarrt und in Flanell eingeschlagen worden war, zeigte dasselbe Verhalten. In anderthalb Stunden war das die Luftblasen umgebende, gefrorene Wasser in seinen flüssigen Zustand zurückversetzt. So kann kein Zweifel mehr darüber walten, dass eine Schmelzung im Inneren einer Eismasse durch Wärme hervorgerufen werden kann, die durch Leitung durch die Masse gegangen ist, ohne dieselbe zu schmelzen.

Ich habe schon die Bildung der flüssigen Höhlen angeführt, die Herr Agassiz beobachtet hatte, wenn Gletschereis der Sonne ausgesetzt wurde. Dieselbe Wirkung kann dadurch hervorgerufen werden, dass man es den Strahlen von glühenden Kohlen aussetzt.

Am 21. und 22. November behandelte ich ebenso Platten von klarem Wenham-Lake-Eis, die einige zerstreute Luftblasen enthielten. Zuerst waren die Blasen scharf umgrenzt und ohne eine Spur von Wasser. Bald aber erschienen die, welche nahe an der Oberfläche lagen und auf die die strahlende Wärme fiel, von einem flüssigen Ringe umgeben, der sich ausdehnte und zuletzt an seinem Rande ausgerundet wurde, wie Fig. 91

Fig. 91.



zeigt. Die Ausrundung wurde stärker, je länger die Einwirkung fortdauerte *).

Eine zweite mit Blasen angefüllte Platte wurde so nahe, wie die Hand es ertragen konnte, an das Feuer gehalten. Als sie weggenommen und durch eine Lupe untersucht wurde, zeigte sich eine prachtvolle Erscheinung. In vielen Fällen schienen die Blasen von Reihen concentrischer Ringe umgeben; der äussere Ring umgab alle anderen wie eine gekräuselte Hemdkrause.

Ich konnte diese Wirkung nicht hervorbringen, als ich das Eis in Berührung mit einer nicht ganz bis zur Glühhitze erwärmten Metallplatte brachte **), ebensowenig wie durch die Ausstrahlung einer dunkeln Wärmequelle. Das Eis ist, wie schon vorher bemerkt, für strahlende Wärme aus einer solchen Quelle undurchdringlich ***). Auch die Strahlen eines gewöhnlichen Feuers werden nahe der Oberfläche, auf die sie fallen, gänzlich absorbirt, und daher war die beschriebene innere Schmelzung auf eine dünne Schicht dicht bei dieser Oberfläche beschränkt.

Es kommt aber nicht nur Schmelzung in Verbindung mit den Blasen vor, sondern auch die schon beschriebenen, von den Sonnenstrahlen hervorgerufenen Blumen treten zu Hunderten auf, wenn ein Stück durchsichtigen Eises vor ein glühendes Kohlenfeuer gelegt wird. Sie sind aber auch auf einen schmalen Streifen der Masse dicht an der von den Strahlen getroffenen Oberfläche des Einfalls beschränkt. Bei den so ange-

*) Die Blasen, die im Gletschereis beobachtet worden sind, zeigen auch diese Form; siehe Fig. 8, Blatt 6, des Atlas des „Système Glaciaire". Fig. 13 zeigt eine grosse Aehnlichkeit mit den blumenförmigen Figuren, die durch strahlende Wärme im Seeeis hervorgerufen werden.

**) Um Wasserhöhlungen im Eis zu entwickeln, braucht man eine geraume Zeit; mehr als nöthig war, um die ganzen Eisstücke, die wir zu diesen letzteren Versuchen benutzt haben, zu schmelzen.

***) Daher rührt die Festigkeit des Eises unter den Moränen; die Sonnenstrahlen werden durch die darüber liegenden Trümmer in dunkle Wärme verwandelt; diese wirkt nur auf eine Schicht von unendlich kleiner Tiefe und kann kein Zerfallen des tiefer liegenden Eises hervorrufen, wie es die directen Sonnenstrahlen können.

stellten Versuchen waren die mittleren Sterne in den Blumen oft von sehr schönen gebogenen Linien eingefasst.

Die vorhergehenden Betrachtungen zeigen, dass die Schmelzung auf der Oberfläche der Eismasse bei einer geringeren Temperatur eintritt, als im Inneren der festen Masse. Auf der Oberfläche erregt eine Temperatur von 0^0 C. eine Schwingung, für deren Erregung im Eise eine Temperatur von $+ x$ nothwendig sein würde; der Zuwachs x ist erforderlich, um den Widerstand gegen die Schmelzung zu überwinden, der sich durch die Wirkung der Moleküle auf einander ergiebt.

Wenn man zwei Eisstücke mit feuchten Oberflächen bei 0^0 C. in Berührung bringt, so werden dadurch oberflächliche Theile in das Innere versetzt, wo x die Schmelztemperatur ist. Die Schmelzung wird an diesen Oberflächen aufhören. Ehe die Oberflächen zusammengebracht worden waren, oscillirten ihre Theilchen wie die einer Flüssigkeit, aber das Innere des Eises hatte diese Bewegung nicht, und da sich zwischen der dünnen Feuchtigkeitsschicht und den starren Massen zu beiden Seiten derselben bald Gleichgewicht herstellt, so wird die Feuchtigkeit in einen Bewegungszustand versetzt, der dem einer Flüssigkeit nicht mehr entspricht. Mit anderen Worten, sie wird gefrieren und die beiden Oberflächen des Eises, zwischen die sie eingeschlossen ist, mit einander verkitten *).

Habe ich Recht, so ist die Wichtigkeit der hier in Betracht kommenden physikalischen Grundsätze genügend klar; habe ich mich indess geirrt, so wird man meinen Irrthum leicht erkennen können. Jedenfalls hoffe ich meine Ansicht so klar ausgesprochen zu haben, wie es der Gegenstand erlaubt.

---

*) Es wird hier vorausgesetzt, dass die Berührung der feuchten Oberflächen so innig oder, in anderen Worten, die Flüssigkeitsschicht zwischen ihnen so dünn ist, dass es den Molekülen möglich ist, durch sie hindurch auf einander zu wirken. Daraus kann man auf die ungemeine Dünnheit der Feuchtigkeitsschicht schliessen. Eine dicke Schicht Wasser zwischen dem Eis würde die Schmelzung eher erleichtern als erschweren.

§. 5.

Die Versuche des Herrn Faraday über das Zusammenfrieren von Eisstücken bei 0° C., sowie alle von Herrn Huxley und mir erwähnten Experimente finden ihre Erklärung in den hier aufgestellten Grundsätzen. Die Verwandlung des Schnees in Firn und des Firns in den Gletscher ist vielleicht das grossartigste Beispiel für dieses Princip. Es ist mir indess eingeworfen worden, dass das Zusammenhaften der zwei Eisstücke eine Folge der Adhäsion sein könne, durch welche auch Stücke von feuchtem Glas und ähnliche Körper zusammenhaften. Dies ist nicht der Fall. Beim Eise ist keine gleitende Bewegung möglich. Wenn die Berührung gelöst wird, so bricht es mit einem Krache, wie eine feste Masse. Man kann Glas und Eis nicht ebenso zusammenhaften machen, auch nicht Glas und Glas, Alaun und Alaun, Salpeter und Salpeter bei gewöhnlicher Temperatur. Ueberdies habe ich Eisstücke über Nacht aufeinander gelegt und fand sie am Morgen so fest aneinander gefroren, dass, als ich sie zu trennen versuchte, die Bruchfläche eher durch eins von ihnen ging, als dass sie der Oberfläche der Regelation folgte. Viele einsichtsvolle Personen haben mir auch vorgestellt, dass das norwegische und Wenham Lake-Eis möglicher Weise einen Rückstand von Kälte enthalten könnte, der genügend wäre, eine dünne zwischen den beiden Stücken eingeschlossene Feuchtigkeitsschicht zum Gefrieren zu bringen. Die schon angegebenen Thatsachen sind aber eine genügende Antwort auf diesen Einwurf. Das Eis, mit dem die Versuche angestellt worden sind, kann nicht als ein Kältebehälter angesehen werden, da Theile von flüssigem Wasser in demselben vorkommen.

Zehntes Kapitel.

Absorption der Wärme durch Gase. — Angewendeter Apparat. — Anfängliche Schwierigkeiten. — Diathermansie der Luft und der durchsichtigen einfachen Gase. — Athermansie (Undurchlässigkeit) des ölbildenden Gases und der zusammengesetzten Gase. — Absorption der strahlenden Wärme durch Dämpfe. — Ausstrahlung von Wärme durch Gase. — Reciprocität von Ausstrahlung und Absorption. — Einfluss der molekularen Beschaffenheit auf den Durchgang der strahlenden Wärme. — Durchgang von Wärme durch undurchsichtige Körper. — Das Wärmespectrum vom Lichtspectrum durch ein undurchsichtiges Prisma getrennt.

---

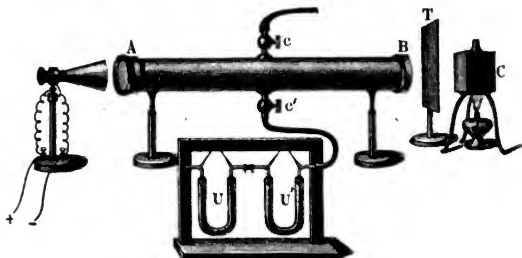
371. Wir haben nun die Diathermansie oder Durchlässigkeit der festen und flüssigen Körper für Wärme untersucht, und haben erfahren, dass, so fest auch die Atome solcher Körper zusammenhängen, die Zwischenräume zwischen den Atomen den Aetherschwingungen doch freien Spielraum lassen, so dass sie in vielen Fällen fast ohne merkliche Behinderung zwischen den Atomen hindurchgehen. In anderen Fällen indess fanden wir, dass die Moleküle die auf sie stossenden Wärmewellen aufhielten, dass sie aber dabei selbst Mittelpunkte von Bewegung wurden. So haben wir erfahren, dass, während vollkommen diather-

mane Körper die Wärmeschwingungen durch sich hindurch liessen, ohne einen Temperaturwechsel zu erleiden, jene Körper, welche den Wärmestrom aufhielten, durch die Absorption erwärmt wurden. Wir sandten selbst durch das Eis einen starken Wärmestrahl; da aber der Strahl solcher Art war, dass er nicht durch das Eis aufgefangen wurde, so ging er durch diese höchst empfindliche Substanz hindurch, ohne sie zu schmelzen. Wir haben uns jetzt mit den Gasen zu beschäftigen; hier sind die Räume zwischen den Atomen so sehr erweitert, die Moleküle so vollständig von jeder gegenseitigen Verbindung gelöst, dass wir fast berechtigt wären, daraus zu schliessen, dass die Gase und Dämpfe den Wärmewellen einen vollständig offenen Durchgang gewähren. Dies war in der That bis vor Kurzem der allgemeine Glaube, und diese Schlussfolgerung wurde durch Versuche mit atmosphärischer Luft begründet, welche keine Spur von Absorption zeigte.

372. Aber jedes folgende Jahr vermehrt unsere Geschicklichkeit im Experimentiren und nach der Erfindung verbesserter Methoden können wir unsere Untersuchungen mit grösserer Hoffnung auf Erfolg wiederholen. So wollen wir denn noch einmal die Diathermansie der atmosphärischen Luft untersuchen. Wir können folgendermaassen einen vorbereitenden Versuch machen: Ich habe hier einen hohlen, zinnernen Cylinder *A B* (Fig. 92 a. f. S.), von 4 Fuss Länge und fast 3 Zoll Durchmesser, durch den wir unsern Wärmestrahl schicken wollen. Wir müssen indess den Durchgang der Wärme durch die Luft mit ihrem Durchgang durch einen luftleeren Raum vergleichen können, und daher Mittel finden, die Enden unseres Cylinders zu schliessen, damit wir ihn auspumpen können. Wir finden hier unsere erste

experimentelle Schwierigkeit. Nach einer allgemeinen Regel wird dunkle Wärme begieriger absorbirt als leuch-

Fig. 92.



tende Wärme, und da es unsere Absicht ist, die Absorption eines sehr diathermanen Körpers bemerklich zu machen, so können wir am wahrscheinlichsten diesen Zweck erreichen, wenn wir die Ausstrahlung von einer dunkeln Quelle anwenden.

373. Unsere Röhre muss daher durch eine Substanz geschlossen werden, die solcher Wärme freien Durchgang gestattet. Sollen wir Glas für diesen Zweck verwenden? Eine Durchsicht der Tabelle, Seite 375, zeigt uns, dass Glasplatten für solche Wärme vollkommen undurchlässig sein würden; wir könnten unsere Röhren ebenso gut mit Metallplatten schliessen. Bemerken Sie, wie hier die Resultate eines Beobachters vom anderen benutzt werden; wie die Wissenschaft wächst, indem die Ziele früherer Forschungen später als Hülfsmittel dienen. Hätte nicht Melloni die diathermanen Eigenschaften des Steinsalzes entdeckt, so würden wir jetzt vollkommen rathlos sein. Eine Zeitlang war ich indess sehr durch die Schwierigkeit ge-

stört, Salzplatten zu bekommen, die gross und rein genug waren, um die Enden meiner Röhre zu schliessen. Ein Arbeiter in der Wissenschaft braucht aber nicht lange auf Hülfe zu warten, wenn seine Bedürfnisse einmal bekannt sind; und Dank solcher Freundeshülfe habe ich hier Platten von dieser kostbaren Substanz, die ich vermittelst der Deckel *A* und *B* luftdicht an die Enden meines Cylinders anschrauben kann*). Sie sehen zwei

---

*) Zu einer Zeit, wo ich sehr nöthig Platten von Steinsalz brauchte, zeigte ich meine Noth in dem „Philosophical Magazine" an, und erhielt augenblicklich Antwort von Sir John Herschel. Er schickte mir ein Stück Salz mit einem Brief, aus dem ich einen Auszug geben will, da er sich auf den Zweck bezieht, zu dem das Salz eigentlich bestimmt war. Ich war bis jetzt noch nicht im Stande, den ausserordentlich merkwürdigen Punkt, auf den der berühmte Gelehrte mich aufmerksam machte, zu untersuchen. Ich bin auch dem Dr. Szabo, ungarischen Commissair bei der Weltausstellung, zu vielem Dank verpflichtet, durch den ich, wenigstens was den Besitz von Steinsalz betrifft, zu verhältnissmässigem Reichthum gekommen bin. Auch Herrn Fletcher in Northwich und Herrn Corbett in Bromsgrove gebührt mein bester Dank für ihre Freundlichkeit.

Hier folgt der Auszug aus Sir J. Herschel's Brief: „Nach der Veröffentlichung meines Aufsatzes in den Philos. Trans. 1840 wünschte ich sehr, den Einfluss von Glasprismen und Linsen zu beseitigen, und wenn möglich, mit Sicherheit zu erfahren, ob meine isolirten Wärmeflecken $\beta\gamma\delta\varepsilon$ im Spectrum solaren oder irdischen Ursprungs seien. Steinsalz war die unmittelbar vorliegende Aushülfe, und nach vielen und vergeblichen Bemühungen, genügend grosse und reine Exemplare zu erhalten, hatte der verstorbene Dr. Somerville die Güte (wie ich von einem Freund in Cheshire hörte), mir das sehr schöne Stück zu schicken, das ich Ihnen jetzt zustelle. Es ist zwar sehr gespalten, aber ich zweifle nicht, dass genügend grosse Stücke für Linsen und Prismen (besonders wenn sie verkittet werden) herauszuschneiden sind.

„Ich war aber nicht vorbereitet für die Bearbeitung desselben, — offenbar ein sehr zarter und schwieriger Process (ich wollte Stücke durch allmähliches Auflösen der Ecken u. s. f. in eine bestimmte Form bringen) und obgleich ich die Sache nie aus den Augen verloren habe, war es mir dennoch nicht möglich, etwas damit zu machen; inzwischen stellte ich es zurück. Als ich ein oder zwei Jahr später danach sah, fand ich zu meinem Bedauern, dass es durch Zerfliessen sehr verloren

Hähne, die an dem Cylinder befestigt sind. Der eine von ihnen, *c*, ist mit der Luftpumpe verbunden, durch die die Röhre ausgepumpt werden kann; während ich durch den anderen, *c'*, Luft oder irgend ein anderes Gas in die Röhre lassen kann.

374. An das eine Ende des Cylinders stelle ich einen Leslie'schen Würfel *C*, der kochendes Wasser enthält und mit Lampenruss bedeckt ist, um seine Ausstrahlungsfähigkeit zu vermehren. Am anderen Ende des Cylinders steht unsere thermo-elektrische Säule, von der Drähte zum Galvanometer führen. Zwischen das Ende *B* des Cylinders und den Würfel *C* habe ich einen Blechschirm *T* gestellt. Wird derselbe fortgezogen, so fallen die Wärmestrahlen von *C* durch die Röhre auf die Säule. Wir pumpen zuerst die Luft aus dem Cylinder, ziehen dann den Schirm etwas beiseite, und nun gehen die Strahlen durch einen luftleeren Raum und fallen auf die Säule. Der Blechschirm ist, wie Sie sehen, nur theilweise fortgezogen, und die beständige Ablenkung, die durch die jetzt hindurchgelassene Wärme bewirkt wird, ist 30 Grad.

375. Wir wollen jetzt trockne Luft einlassen; ich kann dies durch den Hahn *c'* bewirken, von dem ein Stück eines biegsamen Kautschukrohres zu den gebogenen Röhren *U*, *U'* führt, deren Zweck ich jetzt erklären will. Die Röhre *U* ist mit Stücken Bimsstein angefüllt, die mit einer Auflösung von kaustischem Kali angefeuchtet sind; sie dient

---

hatte. Demnach that ich es in Salz in ein irdenes Geschirr mit eisernem Rand, und stellte es auf ein Brett oben in einem Zimmer mit einem Arnott'schen Ofen, wo es bis jetzt geblieben ist.

„Sollten Sie es von einigem Nutzen finden, so möchte ich Sie bitten, meinen Versuch, wie ich ihn beschrieben habe, wo möglich zu wiederholen und diese Frage, die mir immer sehr wichtig schien, zu erledigen."

dazu, um jede Spur Kohlensäure, die sich in der Luft befinden könnte, zu entfernen. Die Röhre *U'* ist mit Bimssteinstücken angefüllt, die mit Schwefelsäure angefeuchtet sind; sie dient dazu, die Wasserdämpfe der Luft zu absorbiren. So erreicht die Luft jetzt den Cylinder, frei von Wasserdampf und Kohlensäure. Sie tritt jetzt ein; das Quecksilber in der Barometerprobe der Luftpumpe fällt, und sowie sie eintritt, möchte ich Sie bitten, die Nadel zu beobachten. Wenn der Eintritt der Luft die Strahlung durch den Cylinder vermindert, wenn die Luft eine Substanz ist, die fähig ist, die Aetherwellen in einem bemerkbaren Grade aufzuhalten, so muss sich dies durch die Abnahme der Ablenkung des Galvanometers zeigen. Die Röhre ist jetzt gefüllt, aber Sie sehen in der Lage der Nadel keine Veränderung, und Sie würden auch keine Veränderung sehen, selbst wenn Sie dicht am Instrumente ständen. Die so untersuchte Luft scheint für strahlende Wärme ebenso durchlässig wie der luftleere Raum selbst zu sein.

376. Indem ich die Stellung des Schirmes wechsle, kann ich die auf die Säule fallende Wärmemenge verändern, und indem ich ihn allmählich fortziehe, bewirken, dass die Nadel sich auf 40°, 50°, 60°, 70° und 80° nacheinander einstellt, und während sie eine von diesen Stellungen einnimmt, kann ich den eben vor Ihnen gemachten Versuch wiederholen. In keinem Falle könnten Sie die geringste Bewegung der Nadel erkennen. Dasselbe ist der Fall, wenn ich den Schirm vorwärts schiebe, so dass ich die Abweichung auf 20° oder 10° vermindere.

377. Der ebengemachte Versuch ist eine an die Natur gerichtete Frage, und ihr Stillschweigen könnte als eine verneinende Antwort gedeutet werden. Ein Naturforscher

darf aber nicht so leichthin eine Verneinung annehmen, und ich bin nicht sicher, ob wir unsere Frage in der besten Form gestellt haben. Wir wollen analysiren, was wir gethan haben, und zuerst den Fall der geringsten Abweichung von 10° betrachten. Nehmen wir an, dass die Luft nicht vollkommen diatherman sei, dass sie wirklich einen geringen Theil, etwa den tausendsten Theil der Wärme aufhielte, die durch die Röhre geht, dass sie von je Tausend Strahlen einen zurückhielte; könnten wir diese Wirkung bemerken? Würde eine solche Absorption eintreten, so würde sich die Abweichung um den tausendsten Theil von 10 Graden, oder um den hundertsten Theil von einem Grade vermindern, eine Abnahme, die Sie unmöglich sehen könnten, selbst wenn Sie ganz nahe bei dem Galvanometer ständen *). In dem hier angenommenen Falle ist die ganze Wärmemenge, die auf die Säule fällt, so klein, dass ein geringer Theil derselben, selbst wenn er absorbirt würde, wohl der Beobachtung entgehen könnte.

378. Wir haben uns aber nicht auf eine geringe Wärmemenge beschränkt; das Resultat war dasselbe, wenn die Ablenkung 80° statt 10° betrug. Ich muss Sie um Ihre volle Aufmerksamkeit bitten, um mir für kurze Zeit auf etwas schwierigen Boden zu folgen. Ich möchte Ihnen jetzt eine wichtige Eigenthümlichkeit des Galvanometers recht klar verständlich machen.

379. Während die Nadel auf Null steht, mag eine Wärmemenge auf die Säule fallen, welche eine Ablenkung von einem Grad hervorzurufen im Stande ist. Wir wollen annehmen, dass ich dann die Wärmemenge

*) Man darf nicht vergessen, dass ich hier von galvanometrischen, nicht von thermometrischen Graden rede.

vermehre, so dass ich Ablenkungen von zwei, drei, vier, fünf Grad erhalte; ich weiss, dass die Wärmemengen, die diese Ablenkungen hervorrufen, im Verhältniss von 1 : 2 : 3 : 4 : 5 zu einander stehen; die Wärmemenge, die eine Ablenkung von 5° erzeugt, ist genau fünfmal so gross als die, die eine Ablenkung von 1° bewirkt. Diese Proportionalität besteht aber nur so lange, als die Ablenkungen eine gewisse Grösse nicht übersteigen. Denn, so wie die Nadel immer weiter vom Nullpunkt abgelenkt wird, wirkt der Strom mit immer geringerem Erfolg auf sie. Dieser Fall wird am leichtesten durch einen Matrosen verständlich, der an einer Schiffswinde arbeitet; er lässt seine Kraft immer in einem rechten Winkel gegen den Hebel wirken, denn, wenn er sie in schräger Richtung wirken liesse, so könnte nur ein Theil der Kraft die Drehung der Schiffswinde bewirken. Und so ist es auch mit unserm elektrischen Strom; wenn die Nadel sehr schräg zur Richtung des Stromes steht, so kann nur ein Theil seiner Kraft zur Wirkung kommen und die Nadel bewegen. So kommt es, dass obgleich die Wärmemenge genau durch die Stärke des von ihr erregten Stromes ausgedrückt werden kann und in unserem Falle ausgedrückt wird, doch die grösseren Ablenkungen, weil sie uns nicht die Wirkung des ganzen Stromes, sondern nur eines Theils desselben geben, nicht das richtige Maass für die Wärmemenge sein können, die auf die Säule fällt.

380. Das Galvanometer vor Ihnen ist so eingerichtet, dass die Ablenkungswinkel bis zu ungefähr 30° proportional den Wärmemengen sind; die Menge, die erforderlich ist, die Nadel vom 29. bis zum 30. Grade zu bewegen, ist genau dieselbe, wie die, die sie von 0° bis 1° bewegt. Aber jenseits des 30. Grades hört die Proportionalität auf.

Die Wärmemenge, die nöthig ist, die Nadel vom 40. bis zum 41. Grade zu bewegen, ist dreimal grösser, als die, die sie von 0° bis 1° bewegt; um sie vom 50. bis zum 51. Grade abzulenken, bedarf es fünfmal mehr Wärme, als um sie von 0° bis 1° zu bewegen; um sie vom 60. bis 61. Grade abzulenken, braucht es siebenmal mehr Wärme, als von 0° bis 1°; um sie vom 70. bis zum 71. Grade abzulenken, ist 11mal mehr Wärme nöthig, während es 50mal mehr Wärme erfordert, um sie vom 80. bis zum 81. Grade zu bewegen, als von 0° bis 1°. So ist, je höher wir gehen, die Wärmemenge, die durch einen Grad der Ablenkung dargestellt wird, desto grösser; eben weil die Kraft, die dann die Nadel bewegt, nur ein Theil der Kraft ist, die wirklich im Draht circulirt, und daher nur einem Theil der Wärme entspricht, die auf die Säule fällt.

381. Durch einen Process, den ich hier nicht beschreiben will*), kann der Werth der höheren Grade des Galvanometers in den niederen ausgedrückt werden. Ich habe so bestimmt, dass während Ablenkungen von 10°, 20°, 30° Wärmemengen ausdrücken, die durch die Zahlen 10, 20, 30 dargestellt sind, eine Ablenkung von 40° eine Wärmemenge darstellt, die durch die Zahl 47 ausgedrückt wird; eine Ablenkung von 50° stellt eine Wärmemenge dar, die durch 80 ausgedrückt wird; während Ablenkungen von 60°, 70°, 80° Wärmemengen entsprechen, die in einem viel schnelleren Verhältniss wachsen, als die Ablenkungen selbst.

382. Was ist das Resultat dieser Betrachtung? Ich denke, wir werden auf eine bessere Methode geführt werden, die Natur zu befragen. Sie führt uns zu der Ueberlegung, dass wenn wir unsere Winkel klein machen,

*) Siehe Anhang zu diesem Kapitel.

die Wärmemenge, die auf die Säule fällt, so gering ist, dass wenn selbst ein Theil derselben absorbirt würde, er doch der Beobachtung entgehen müsste; während, wenn wir unsere Ablenkung durch einen mächtigen Wärmestrom vergrössern, die Nadel in einer Lage ist, wo sie einer grossen Zu- oder Abnahme von Wärme zu ihrer Bewegung bedürfte. Der tausendste Theil der ganzen Ausstrahlung würde in dem einen Falle entschieden zu klein sein, um gemessen zu werden; der tausendste Theil könnte im anderen Falle sehr bemerkbar sein, ohne indess darum auch die Nadel in einem bemerkbaren Grade zu afficiren. Wenn zum Beispiel die Ablenkung grösser als 80° ist, so würde eine Vermehrung oder Verminderung der Wärme, die 15 oder 20 der niederen Grade des Galvanometers entspricht, kaum messbar sein.

383. Unsere Aufgabe ist uns jetzt klar vorgezeichnet; wir müssen mit einem so grossen Wärmestrom arbeiten, dass ein kleiner Bruchtheil desselben nicht verschwindend klein ist, und dabei doch unsere Nadel in ihrer empfindlichsten Stellung erhalten. Gelingt uns das, so können wir die Feinheit unserer Methode ungemein erhöhen. Wenn ein äusserst kleiner Theil der gesammten Wärme durch das Gas aufgefangen wird, so können wir den absoluten Werth dieses Theiles vermehren, indem wir das Ganze vermehren, von dem er ein bestimmter Bruchtheil ist.

384. Glücklicher Weise lässt sich dieses Problem wirklich lösen. Sie wissen, dass wenn wir Wärmestrahlen auf die entgegengesetzten Seiten der thermo-elektrischen Säule fallen lassen, die erzeugten Ströme sich gewöhnlich mehr oder weniger gegenseitig neutralisiren, und dass, wenn die auf die beiden Seiten fallenden Wärmemengen ganz gleich gross sind, die Neutralisation vollständig ist.

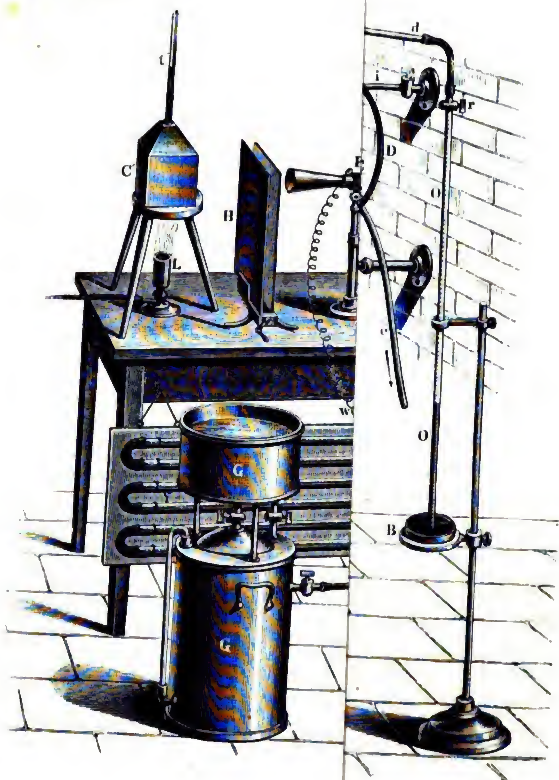
Die Nadel unseres Galvanometers wird jetzt durch den Wärmestrom, der durch das Rohr geht, auf 80° abgelenkt; ich decke die zweite Seite der Säule auf, versehe sie ebenfalls mit einem konischen Reflector und stelle ihr einen zweiten Würfel mit kochendem Wasser gegenüber; der Ausschlag der Nadel vermindert sich augenblicklich, wie Sie sehen.

385. Mit Hülfe eines richtig gestellten Schirmes kann ich die Wärmemenge, die auf die hintere Seite der Säule fällt, so reguliren, dass sie genau die Wärme neutralisirt, die auf die andere Seite auffällt; dies ist jetzt geschehen, und die Nadel zeigt auf Null.

386. So haben wir denn hier zwei mächtige und vollkommen gleiche Wärmeströme, die auf die entgegengesetzten Seiten der Säule auffallen, von denen der eine durch unseren entleerten Cylinder geht. Lasse ich Luft in den Cylinder eintreten, und übt diese Luft irgend eine bemerkbare Wirkung auf die Wärmestrahlen aus, so muss die jetzt bestehende Gleichheit gestört werden; wird ein Theil der Wärme, die durch die Röhre geht, von der Luft aufgefangen, so muss die zweite Wärmequelle überwiegen, die Nadel, die jetzt in ihrer empfindlichsten Stellung ist, muss abgelenkt werden, und aus der Grösse der Ablenkung können wir die Absorption genau berechnen.

387. Hiermit habe ich im Umriss den Apparat skizzirt, mit dem unsere Untersuchungen über die Beziehung zwischen der strahlenden Wärme und den Gasen angestellt werden sollen. Die angewandten Methoden müssen indess so bedeutende Wirkungen geben und zu gleicher Zeit so empfindlich sein, dass ein so roher Apparat, wie der eben beschriebene, unserm Zweck nicht entsprechen würde. Sie werden aber jetzt keine Schwierigkeit finden, die Construction und die Anwendung eines vollkommeneren Apparats

(Zu S. 419.)



zu verstehen, mit dem die Versuche über die Absorption und Ausstrahlung der Gase gemacht worden sind. Siehe Tafel I.

388. Zwischen *S* und *S'* liegt der Versuchscylinder, ein hohles, innen polirtes Messingrohr; *S* und *S'* sind Steinsalzplatten, die den Cylinder luftdicht schliessen; die Länge von *S* bis *S'* beträgt bei den zuerst beschriebenen Versuchen 4 Fuss. *C*, die Wärmequelle, ist ein Würfel von gegossenem Kupfer; er ist mit Wasser angefüllt, das durch die Lampe *L* fortwährend kochend erhalten wird. Am Würfel *C* ist der kurze Cylinder *F* angelöthet, der denselben Durchmesser wie der Versuchscylinder hat, und mit diesem bei *S* luftdicht verbunden werden kann. So haben wir zwischen der Quelle *C* und dem Ende *S* der Versuchsröhre eine Vorkammer *F*, aus der die Luft entfernt werden kann, so dass die Strahlen von der Quelle aus in den Cylinder *S S'* eintreten können, ohne von der Luft gesiebt zu werden. Um zu verhindern, dass die Wärme von der Quelle *C* durch Leitung auf die Platte bei *S* übergehen kann, ist die Kammer *F* von dem Gefäss *V* umgeben, in dem ein Strom kalten Wassers ununterbrochen circulirt, der durch die, bis auf den Boden des Gefässes reichende Röhre *i i* eintritt, und durch das Abflussrohr *e e* entweicht. Die Versuchsröhre und die Vorkammer sind unabhängig von einander mit der Luftpumpe *A A* verbunden, so dass jede von ihnen für sich entleert oder gefüllt werden kann. Ich will hier noch bemerken, dass bei späteren Einrichtungen der Versuchscylinder getrennt von der Luftpumpe aufgestellt wurde, und mit der letzteren durch eine biegsame Röhre verbunden war. Hierdurch wurde die zitternde, bei festen Verbindungen eintretende Bewegung der Luftpumpe vollständig vermieden. *P* ist die thermo-elektrische Säule, die auf ihrem Ständer an das Ende des Versuchs-

cylinders gestellt und mit zwei konischen Reflectoren versehen ist. *C'* ist der Compensationswürfel, durch den die Ausstrahlung von *C* neutralisirt wird; *H* ist der berichtigende Schirm, der mit grosser Genauigkeit hin und her geschoben werden kann. *NN* ist ein sehr empfindliches Galvanometer, das mit der Säule *P* durch die Drähte *w w'* verbunden ist. Auf die graduirte Röhre *O O* (rechts auf der Tafel) und auf die Vorrichtung *MK* (in der Mitte der Versuchsröhre) wollen wir gelegentlich wieder zurückkommen.

389. Ich würde schwerlich Ihr Interesse fesseln, wollte ich die Schwierigkeiten erwähnen, die sich zuerst den mit diesem Apparat gemachten Untersuchungen entgegenstellten, oder die zahllosen Vorsichtsmaassregeln, welche die genaue Ausgleichung der hier benutzten beiden mächtigen Wärmequellen nothwendig machte. Ich glaube, dass die Versuche, die allein mit atmosphärischer Luft angestellt worden sind, sich nach Zehntausenden zählen lassen. Oft wurden eine Woche, ja selbst 14 Tage hindurch übereinstimmende und befriedigende Resultate erhalten; es schien, als wären die genauen Bedingungen zu exacten Versuchen gefunden worden, als die Untersuchung eines folgenden Tages alle darauf gebauten Hoffnungen zerstörte und eine Wiederaufnahme der ganzen Frage unter veränderten Bedingungen nöthig machte. Solche Erfahrungen sind es, welche den Experimentator zurückschrecken. Es ist der Kampf mit den vielen so unklaren, verworrenen und unerfreulichen Nebenumständen und Schwierigkeiten, die sich anfangs einer Untersuchung entgegen stellen, ohne dass man weiss, ob die Mühe zu einem irgendwie brauchbaren Resultat führen wird, welcher die Entdeckungen so schwierig und selten macht. Aber der Experimentator, namentlich der jüngere, sollte bedenken, dass er in allen Fällen

nur an innerem Werth gewinnen kann, wenn er nur ernstlich strebt. Das Bewusstsein, dass er seinen Gegenstand vollkommen durchforscht hat, soweit es seine Mittel erlaubten, das Gefühl, dass er keine Arbeit gescheut, selbst wenn diese Arbeit ihm zuletzt nur die Erfolglosigkeit seiner Bestrebungen dargelegt hat, vermag ihn selbst bei einem negativen Resultat zu erheben und giebt ihm Kraft für künftiges Schaffen.

390. Aber zur Sache zurück. — Ich vernachlässigte zuerst die atmosphärische Feuchtigkeit und die Kohlensäure gänzlich, indem ich, wie so viele Andere nach mir, die Wirkung dieser Substanzen auf die strahlende Wärme bei ihrer äusserst geringen Menge für ganz unmerklich hielt; nach einiger Zeit fand ich jedoch, dass diese Annahme mich sehr irreführte. Ich benutzte erst Chlorcalcium als Trockenmittel, musste es aber wieder aufgeben. Dann benutzte ich mit Schwefelsäure befeuchteten Bimsstein, den ich auch wieder verlassen musste. Endlich versuchte ich Stücke von reinem Glase zu verwenden, die mit Schwefelsäure befeuchtet und mittelst eines Trichters in eine U-Röhre eingeführt wurden. Es schien mir dies die beste Einrichtung zu sein, doch auch hier war die grösste Sorgfalt erforderlich. Jeder Schenkel musste oben mit einer Lage trockener Glasstücke bedeckt werden, denn ich fand, dass wenn auch nur ein Stäubchen vom Kork oder etwas Siegellack, nicht mehr als ein Zwanzigstel eines Nadelknopfes, die Säure erreichte, die Resultate unrichtig ausfielen. Ueberdies mussten die Trockenröhren öfter gewechselt werden, da die organische Materie der Atmosphäre, so klein ihre Menge auch war, doch bald Störungen hervorrief.

391. Reiner carrarischer Marmor wurde in Stücke zerschlagen, mit kaustischem Kali befeuchtet und in eine

U-Röhre eingefüllt, um die Kohlensäure zu entfernen. Dieses sind die Hülfsmittel, die ich jetzt anwende, um das Gas zu trocknen und die Kohlensäure zu entfernen; aber vor ihrer endgültigen Annahme benutzte ich die auf Tafel I. gezeichnete Vorrichtung, um die Luft zu trocknen, bei der die beiden 3 Fuss langen Glasröhren *Y Y* mit Chlorcalcium angefüllt waren. Hinter dieselben waren zwei mit Bimsstein und Schwefelsäure gefüllte U-Röhren *R*, *Z* gestellt. So musste die Luft im ersten Falle über 18 Fuss Chlorcalcium und nachher durch die mit Schwefelsäure angefüllten Röhren gehen, ehe sie in die Versuchsröhre *S S'* eintrat. Ein Gasbehälter *G G* wurde für andere Gase als atmosphärische Luft benutzt. Bei meinen jetzigen Untersuchungen ist diese Einrichtung, wie ich schon gesagt habe, wieder verlassen und durch eine einfachere und zweckmässigere ersetzt worden.

392. Mein Assistent hat jetzt sowohl die Vorkammer *F*, als auch die Versuchsröhre *S S'* von Luft entleert. Die Strahlen gehen von der Quelle *C* durch die Vorkammer, durch die Steinsalzplatte bei *S*, durch die Versuchsröhre, durch die Platte bei *S'*, und fallen zuletzt auf die vordere Fläche der Säule *P*. Diese Ausstrahlung wird durch die des Compensationswürfels *C'* neutralisirt. Die Nadel ist, wie Sie beobachten werden, auf Null. Wir wollen unsere Versuche damit beginnen, dass wir diese sehr empfindliche Probe auf trockene Luft anwenden. Sie tritt jetzt in den Versuchscylinder; Sie sind aber zu weit entfernt und sehen deshalb keine Bewegung der Nadel; wir können also durch unsere entscheidendere Versuchsmethode eine Absorption durch die Luft n i c h t entdecken. Ihre Atome sind, wie es scheint, unfähig eine einzige Wärmewelle zu zerstören; sie ist in der That für die Wärmestrahlen ein Vacuum. Sauerstoff, Wasserstoff

und Stickstoff zeigen, wenn sie sorgfältig gereinigt sind, die Wirkung der atmosphärischen Luft, sie sind augenscheinlich neutral.

393. Bis jetzt könnten wir glauben, dass sich die neutrale Eigenschaft der atmosphärischen Luft allgemein auf alle durchsichtigen Gase ausdehnt. Wir wollen sehen, ob dies richtig ist. Ich habe hier einen Gasbehälter mit ölbildendem Gase; gewöhnliches Kohlengas würde meinem Zwecke auch entsprechen. Ich lasse etwas ölbildendes Gas in die Luft ausströmen, aber Sie sehen nichts, da das Gas vollkommen durchsichtig ist. Die Versuchsröhre ist ausgepumpt und die Nadel zeigt auf Null, und nun wollen wir ölbildendes Gas hineinlassen. Beobachten Sie die Wirkung. Die Nadel bewegt sich momentan; das durchsichtige Gas fängt, wie ein undurchwärmiger Körper, die Wärme auf; die letzte und ständige Ablenkung, wenn die Röhre mit Gas angefüllt ist, steigt bis auf 70°.

394. Ich will jetzt einen Metallschirm zwischen die Säule *P* und das Ende *S'* der Versuchsröhre stellen, und so die Ausstrahlung durch sie vollständig abschneiden. Die Seite der Säule, die gegen den Metallschirm gekehrt ist, giebt ihre Wärme schnell durch Ausstrahlung ab; sie hat jetzt die Temperatur dieses Zimmers und die Ausstrahlung des Compensationswürfels wirkt allein auf die Säule, und bringt eine Ablenkung von 75° hervor. Bei dem Beginn des Versuchs waren die Ausstrahlungen beider Würfel gleich; also entspricht die Ablenkung von 75° der totalen Strahlung durch die Versuchsröhre, wenn die letztere ausgepumpt ist.

395. Nehmen wir als Einheit die Wärmemenge, die nöthig ist, um die Nadel von 0° bis 1° zu bewegen, so ist

die Zahl der Einheiten, die durch eine Ablenkung von 75° ausgedrückt wird,

276.

Die Zahl der durch eine Ablenkung von 70° ausgedrückten Einheiten ist

211.

Von der Gesammtmenge 276 hat also das ölbildende Gas 211 aufgefangen; das sind ungefähr sieben Neuntel des Ganzen oder 80 Procent.

396. Scheint es Ihnen nicht, als hätte sich plötzlich eine undurchwärmige Schicht auf unsere Salzplatten niedergeschlagen, als das Gas eintrat? Die Substanz schlägt jedoch eine solche Schicht nicht nieder. Ich lasse einen Strom des getrockneten Gases gegen eine polirte Salzplatte strömen, Sie bemerken aber nicht die geringste Trübung. Ueberdies sind die Steinsalzplatten, wenn auch für genaue Messungen erforderlich, doch nicht nöthig, um die zerstörende Wirkung dieses Gases zu zeigen. Hier ist ein offener Zinncylinder zwischen die Säule und unsere ausstrahlende Quelle geschoben; ich lasse ölbildendes Gas langsam aus diesem Gasbehälter in den Cylinder treten, und Sie sehen, wie die Nadel bis zu ihren Hemmungen fliegt. Beobachten Sie die geringe Menge des nun benutzten Gases. Ich reinige die offene Röhre, indem ich einen Luftstrom durchgehen lasse; die Nadel steht jetzt auf Null, und ich will einfach diesen Hahn so schnell als möglich auf- und zudrehen. Nur eine Gasblase tritt in dieser kurzen Zwischenzeit in die Röhre; doch sehen Sie, dass durch ihre Gegenwart die Nadel bis auf 70° ausschwingt. Ich nehme nun die offene Röhre fort und lasse nichts als die freie Luft zwischen der Säule und der Quelle; vom Gasometer

lasse ich ölbildendes Gas in diesen Raum strömen. Sie sehen nichts in der Luft; aber die Schwingung der Nadel durch einen Bogen von 60° verkündet die Gegenwart dieser unsichtbaren Schranke für die Wärmestrahlen.

397. So zeigt es sich, dass die Aetherschwingungen, die unbehindert durch die Atome des Sauerstoffs, Stickstoffs und Wasserstoffs gleiten können, mächtig durch die Moleküle des ölbildenden Gases aufgehalten werden. Wir werden auch andere durchsichtige Gase der Luft unendlich überlegen finden. Wir können die Zahl der Gasatome nach Belieben verringern, und so die Menge der zerstörten Aetherwellen verändern; gasförmige Körper haben in dieser Hinsicht einen grossen Vorzug vor den flüssigen und festen. An der Luftpumpe ist eine Barometerröhre befestigt, vermöge deren ich gemessene Gasmengen einlassen kann. Die Versuchsröhre ist jetzt ausgepumpt; ich drehe den Hahn langsam um, beobachte das Quecksilber in der Barometerprobe, und lasse das ölbildende Gas eintreten, bis die Quecksilbersäule um einen Zoll gesunken ist. Ich beobachte das Galvanometer und lese die Ablenkung ab. Nachdem ich so die Absorption bestimmt habe, die durch das Gas bei einem Zoll Druck hervorgerufen wurde, füge ich eine weitere Gasmenge hinzu und bestimme die Absorption, die bei zwei Zoll Druck hervorgerufen wird. Wenn wir so fortfahren, erhalten wir für Spannungen von 1 bis 10 Zoll die folgenden Absorptionen:

Oelbildendes Gas.

Druck in Zollen	Absorption
1	90
2	123
3	142
4	157
5	168
6	177
7	182
8	186
9	190
10	193

398. Die hier benutzte Einheit ist die Wärmemenge, welche absorbirt wird, wenn eine ganze Atmosphäre von getrockneter Luft in die Röhre eingelassen wird. Die Tabelle zeigt zum Beispiel, dass ein Dreissigstel einer Atmosphäre von ölbildendem Gase eine 90mal grössere Absorption als eine ganze Luftatmosphäre ausübt.

399. Die Tabelle zeigt uns auch, dass jeder hinzugekommene Zoll von ölbildendem Gase weniger Wirkung als der vorhergehende hat. Ein einzelner Zoll fängt im Anfang 90 Strahlen auf, ein zweiter nur 33, während die Hinzufügung eines Zolls, wenn schon 9 Zoll in der Röhre sind, nur die Zerstörung von drei Strahlen bewirkt. Dies konnte man eigentlich erwarten. Die Zahl der ausgesandten Strahlen ist begrenzt und das Eintreten des ersten Zolls ölbildenden Gases hat ihre Reihen so gelichtet, dass die durch den zweiten Zoll hervorgerufene Wirkung natürlich geringer sein muss, als beim ersten. Diese Wirkung muss abnehmen, so wie die Zahl der Strahlen abnimmt, die vom Gase zerstört werden können; bis zuletzt alle absorbirbaren Strahlen entfernt sind und

die übrigbleibende Wärme unbehindert durch das Gas gehen kann *).

400. Nehmen wir aber an, dass die zuerst eingeführte Gasmenge so unbedeutend sei, dass die durch sie aufgefangene Wärmemenge verschwindend ist, so können wir wohl erwarten, dass wenigstens Anfangs die aufgefangene Wärmemenge der gegenwärtigen Gasmenge proportional sei, dass eine doppelte Gasmenge die doppelte Wirkung, eine dreifache Menge eine dreifache Wirkung hervorrufen würde, oder, allgemein ausgedrückt, dass die Absorption innerhalb gewisser Grenzen der Dichtigkeit proportional ist.

401. Um dieses Resultat zu prüfen, wollen wir einen in der vorigen Beschreibung fortgelassenen Theil des Apparats benutzen. *O O* (Tafel I.) ist eine graduirte Glasröhre, deren Ende in das Gefäss voll Wasser *B* taucht. Die Röhre ist oben durch den Hahn *r* geschlossen; *d d* ist eine Röhre mit Stücken von Chlorcalcium. Die Röhre *O O* ist zuerst mit Wasser bis zum Hahn *r* gefüllt, und das Wasser nachher vorsichtig durch ölbildendes Gas ersetzt, das von unten in Blasen eingelassen wird. Das Gas wird durch den Hahn *r* in den Versuchscylinder ein-

*) Eine Aetherwelle, die von einem strahlenden Punkt nach allen Richtungen in einem gleichförmigen Medium ausgeht, bildet eine Kugelschale, die sich mit der Geschwindigkeit des Lichts oder der strahlenden Wärme ausbreitet. Ein Strahl von Licht oder ein Strahl von Wärme ist eine Linie, senkrecht auf die Welle, und in dem hier angenommenen Fall würden die Strahlen die Radien der Kugelschale sein. Das Wort „Strahl“ wird indess in dem Text, um eine Umschreibung zu vermeiden, gleichbedeutend mit dem Ausdruck „Wärmeeinheit“ benutzt. Nennen wir nun die Wärmemenge, die durch eine ganze Luftatmosphäre aufgefangen wird, Eins, so würde die Menge, die durch $1/_{30}$ einer Atmosphäre von ölbildendem Gase aufgefangen wird, 90 sein.

geführt, und bei seinem Eintritt steigt das Wasser in *OO*, wo jeder Theilstrich ein Volum von $^1/_{50}$ eines Cubikzolls bezeichnet. Man lässt nacheinander immer grössere Volumina in die Röhre eintreten und die Absorption wird in jedem einzelnen Falle bestimmt.

402. In der folgenden Tabelle enthält die erste Zahlenreihe die Gasmenge, die in die Röhre eingelassen worden ist; die zweite enthält die entsprechende Absorption, die dritte diejenige Absorption, die unter der Voraussetzung berechnet worden ist, dass sie der Dichtigkeit proportional sei.

Oelbildendes Gas.

Einheitsmaass, $^1/_{50}$ eines Cubikzolles.

	Absorption	
Gasmaasse	beobachtet	berechnet
1	2,2	2,2
2	4,5	4,4
3	6,6	6,6
4	8,8	8,8
5	11,0	11,0
6	12,0	13,2
7	14,8	15,4
8	16,8	17,6
9	19,8	19,8
10	22,0	22,0
11	24,0	24,2
12	25,4	26,4
13	29,0	28,6
14	30,2	29,8
15	33,5	33,0

403. Diese Tabelle bezeugt die Richtigkeit der Voraussetzung, dass bei sehr kleinen Gasmengen die Absorption der Dichtigkeit proportional ist. Aber bedenken Sie für

einen Augenblick die geringe Dichte des Gases, mit dem wir hier gearbeitet haben. Das Volum unserer Versuchsröhre beträgt 220 Cubikzoll; denken Sie sich $^1/_{50}$ eines Cubikzolls Gas in diesem Raum vertheilt und Sie haben die Atmosphäre, durch die die Wärmestrahlen bei unserem ersten Versuche hindurchgehen mussten. Diese Atmosphäre hat einen Druck, der nicht den von $^1/_{11000}$ der gewöhnlichen Luft übersteigt. Sie würde die mit der Luftpumpe verbundene Quecksilbersäule um nicht mehr als $^1/_{367}$ eines englischen Zolls herabdrücken. Ihre Wirkung auf die Wärmestrahlen ist indess vollkommen messbar.

404. Die Absorptionskraft des ölbildenden Gases, so ausserordentlich wie sie sich durch die vorhergehenden Versuche erweist, wird doch noch durch die verschiedener Dämpfe übertroffen, deren Wirkung ich jetzt zeigen will. Hier ist eine Glasflasche *G* (Fig. 93), mit einem Messingdeckel, an den ein Hahn luftdicht angeschraubt werden kann. Ich giesse eine geringe Menge von Schwefeläther in die Flasche, und entferne mittelst einer Luftpumpe vollständig die Luft, die die Flasche oberhalb der Flüssigkeit füllte. Ich befestige die Flasche an der jetzt luftleeren Versuchsröhre — die Nadel zeigt auf Null — und lasse den Dampf aus der Flasche in sie hineintreten. Das Quecksilber in der Barometerprobe sinkt, und jetzt, wo es um einen Zoll gefallen ist, will ich den ferneren Zutritt des Dampfes verhindern. Im Augenblick, wo der Dampf eintrat, bewegte sich die Nadel und zeigt jetzt auf 65°. Ich kann noch einen Zoll hinzufügen und wieder die Absorption bestimmen; ebenso einen dritten Zoll und dasselbe thun. Die Absorptionen durch vier Zoll, welche

Fig. 93.



in dieser Art eingeführt wurden, sind in der folgenden Tabelle angegeben. Der Vergleichung halber führe ich die entsprechenden Absorptionen des ölbildenden Gases in der dritten Columne auf.

Schwefeläther.

Druck in Zollen Quecksilber	Absorption	Entsprechende Absorption des ölbildenden Gases
1	214	90
2	282	123
3	315	142
4	330	154

405. Für diese Drucke ist die Absorption der strahlenden Wärme durch den Dampf des Schwefeläthers ungefähr $2^2/_3$ mal so gross, wie die Absorption des ölbildenden Gases. Es zeigt sich indess keine Proportionalität zwischen der Menge der Dämpfe und der Absorption.

406. Aehnliche Betrachtungen wie beim ölbildenden Gase, können wir auch beim Aether anstellen. Nehmen wir an, dass wir die auf einmal eingeführte Dampfmenge klein genug machen, so wird die Zahl der zuerst zerstörten Strahlen im Vergleich zur Gesammtmenge derselben verschwinden, und für einige Zeit wird sich wohl herausstellen, dass die Absorption der Dichtigkeit direct proportional sei. Um zu untersuchen, ob dies der Fall ist, wurde der andere Theil des Apparats benutzt, der in der allgemeinen Beschreibung ausgelassen ist. *K* ist eine der kleinen, schon beschriebenen Flaschen mit einem Messingdeckel, der fest an den Hahn *c'* geschraubt ist. Zwischen den Hähnen *c'* und *c*, von denen der letztere mit der Versuchsröhre verbunden ist, ist die Kammer *M*, deren Rauminhalt genau bestimmt ist. Die Flasche *K* ist theilweise mit Aether angefüllt, die Luft über der Flüs-

sigkeit ist entfernt. Nachdem die Röhre *S S'* und die Kammer *M* ausgepumpt worden sind, wird der Hahn *c* geschlossen, und indem *c'* geöffnet wird, die Kammer *M* mit reinem Aetherdampf angefüllt. Beim Abschliessen von *c'* und beim Oeffnen von *c* kann diese Dampfmenge sich durch die Versuchsröhre vertheilen, wo ihre Absorption bestimmt wird. So werden immer grössere Maasse in die Röhre gelassen, und die durch jedes derselben hervorgerufene Wirkung notirt.

407. Das Einheitsmaass, dessen ich mich bei der folgenden Tabelle bediente, hatte ein Volum von $^1/_{100}$ Cubikzoll.

Schwefeläther.

Einheitsmaass, $^1/_{100}$ eines Cubikzolles.

Maasse	Absorption beobachtet	Absorption berechnet
1	5,0	4,6
2	10,3	9,2
4	19,2	18,4
5	24,5	23,0
6	29,5	27,0
7	34,5	32,2
8	38,0	36,8
9	44,0	41,4
10	46,2	46,2
11	50,0	50,6
12	52,8	55,2
13	55,0	59,8
14	57,2	64,4
15	59,4	69,0

408. Wir finden hier, dass die Proportionalität zwischen Dichtigkeit und Absorption für die ersten elf Maasse stimmt, nachher wächst allmählich die Abweichung von der Proportionalität.

409. Das obenangeführte Gesetz ist ohne Zweifel noch richtiger für kleinere Maasse als $^1/_{100}$ Cubikzoll, und in einer geeigneten Räumlichkeit könnte man leicht mit vollkommener Genauigkeit $^1/_{10}$ von der Absorption bestimmen, die durch das erste Maass hervorgerufen wurde; dies würde $^1/_{1000}$ Cubikzoll Dampf entsprechen. Ehe der Dampf aber in die Röhre eintrat, hatte er nur die Spannung, die der Temperatur des Laboratoriums zukam, nämlich 12 Zoll. Diese müsste mit 2,5 multiplicirt werden, um den Druck der Atmosphäre zu erhalten. So würde $^1/_{1000}$ Cubikzoll, wenn er in einer Röhre vertheilt wäre, die einen Rauminhalt von 220 Cubikzoll besässe, den Druck von $\frac{1}{220} \times \frac{1}{2{,}5} \times \frac{1}{1000} = \frac{1}{500000}$ einer Atmosphäre haben.

410. Diese Versuche mit Aether und ölbildendem Gase zeigen, dass nicht nur gasförmige Körper bei dem gewöhnlichen Druck der Atmosphäre dem Durchgang der strahlenden Wärme ein Hinderniss bieten; nicht nur bei solchen Gasen sind die Molekularzwischenräume unfähig, den Aetherschwingungen freien Durchgang zu lassen, sondern auch selbst wenn ihre Dichtigkeit weit unter die gebracht wird, welche dem atmosphärischen Druck entspricht, ist die so geöffnete Thür nicht weit genug, um die Schwingungen durchzulassen. Es muss in der Constitution der so sparsam verstreuten Moleküle selbst begründet sein, dass sie die Wärmewellen zerstören. Die Zerstörung ist indess nur eine scheinbare; es tritt kein wirklicher Verlust ein. Die Strahlen gehen durch trockene Luft, ohne sie besonders zu erwärmen; so frei können sie nicht durch ölbildendes Gas oder Aetherdampf gehen, aber jede dem Wärmestrahl entzogene Welle bringt ihre gleichwerthige

Bewegung in der Masse des absorbirenden Gases hervor und erhöht seine Temperatur. Es ist dies eine Uebertragung, nicht eine Zerstörung. Ich könnte diese Versuche auf alle möglichen flüchtigen Flüssigkeiten ausdehnen und Ihnen zeigen, dass dasselbe Gesetz für ihre Dämpfe gilt.

411. Ehe ich die hier benutzte Wärmequelle verändere, möchte ich für einen Augenblick Ihre Aufmerksamkeit auf die Wirkung einiger der permanenten Gase auf strahlende Wärme lenken. Zur Messung der in den Versuchscylinder eingelassenen Mengen wurde die Barometerprobe der Luftpumpe angewendet. Bei Kohlenoxyd entsprechen die folgenden Absorptionen den daneben gestellten Drucken; die Wirkung einer ganzen Atmosphäre Luft, die die Ablenkung eines Grades hervorbringen soll, wurde als Einheit angenommen:

Kohlenoxyd.

Druck in Zollen Quecksilber.	Absorption	
	beobachtet	berechnet.
0,5	2,5	2,5
1,0	5,6	5,0
1,5	8,0	7,5
2,0	10,0	10,5
2,5	12,0	12,5
3,0	15,0	15,0
3,5	17,5	17,5

Wie in früheren Fällen ist die dritte Columne unter der Annahme berechnet, dass die Absorption der Dichtigkeit des Gases direct proportional sei, und wir sehen, dass bei sieben Maassen oder bis zum Druck von 3,5 Zoll die Proportionalität richtig bleibt. Für eine grössere Menge ist es aber nicht der Fall; wenn zum Beispiel die Einheit

5 Zoll statt eines halben Zolles ist, so erhalten wir folgendes Resultat:

Druck in Zollen Quecksilber.	Absorption	
	beobachtet	berechnet.
5	18	18
10	32,5	36
15	45	53

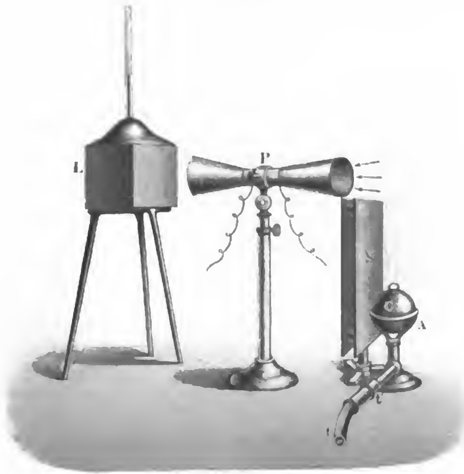
Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, Stickoxydul und andere Gase, obgleich sie in der Kraft ihrer Absorption von einander abweichen und alle das Kohlenoxyd übertreffen, zeigen doch, wenn kleine und grosse Mengen angewendet werden, ein gleiches Verhalten zur strahlenden Wärme.

412. So finden wir bei einigen Gasen eine fast vollkommene Unfähigkeit ihrer Atome, ätherische Wellen aufzufangen, während die Atome anderer Gase, wenn sie von diesen selben Schwingungen getroffen werden, ihre Bewegung absorbiren und selbst Wärmemittelpunkte werden. Wir müssen nun die Eigenschaften der gasförmigen Körper in dieser letzteren Beziehung näher untersuchen; wir müssen fragen, ob ihre Atome und Moleküle, die vom Aether in so verschiedenen Graden Bewegung annehmen können, nicht auch durch die Fähigkeit charakterisirt sind, dem Aether in verschiedenen Graden Bewegung mitzutheilen; oder einfacher, da wir die Absorptionskraft der verschiedenen Gase für strahlende Wärme kennen gelernt haben, so müssen wir nun auch nach ihrer Ausstrahlungsfähigkeit fragen.

413. Ich habe hier einen Apparat, vermittelst dessen wir diese Frage lösen können. *P* (Fig. 94) ist die thermoelektrische Säule mit ihren beiden konischen Reflectoren; *S* ist ein doppelter Schirm von polirtem Zinn; *A* ist ein Argandbrenner, der aus zwei concentrisch durchbohrten

Ringen besteht; *C* ist eine kupferne Kugel, die während der Versuche nicht ganz bis zur Rothglühhitze erwärmt wird; die Röhre *tt'* führt zu einem Gasbehälter. Wenn die heisse Kugel *C* auf den Brenner gelegt wird, so erwärmt sie die mit ihr in Berührung kommende Luft, welche in die Höhe steigt und dabei bis zu einem gewissen Grade auf die Säule wirkt. Um diese Wirkung zu

Fig. 94.



neutralisiren, wird ein grosser Leslie'scher Würfel, der mit Wasser gefüllt ist, welches einige Grade wärmer ist als die Luft, vor die entgegengesetzte Fläche der Säule gestellt. Nachdem die Nadel auf Null gebracht worden ist, wird das Gas durch den Druck einer kleinen Wassersäule durch die Oeffnungen des Brenners getrieben, es

trifft die Kugel *C*, gleitet an ihrer Oberfläche entlang und steigt in einem warmen Strom vor der Säule auf. Die Strahlen des erwärmten Gases strömen in der Richtung der Pfeile gegen die Säule, und die darauf folgende Ablenkung der Nadel des Galvanometers zeigt die Stärke der Ausstrahlung an.

414. Die Resultate der Versuche sind in der zweiten Columne der folgenden Tabelle enthalten; die dort angegebenen Zahlen bezeichnen die äusserste Grenze, bis zu der die Nadel ausschlug, als die Strahlen des Gases auf die Säule fielen:

	Ausstrahlung.	Absorption.
Luft	unmerkbar.	unmerkbar.
Sauerstoff	„	„
Stickstoff	„	„
Wasserstoff	„	„
Kohlenoxyd	12°	18,0°
Kohlensäure	18	25,0
Stickoxydul	29	44,0
Oelbildendes Gas	53	61,0

415. Um die Ausstrahlung mit der Absorption zu vergleichen, habe ich in der dritten Reihe die Ablenkungen zusammengestellt, die der Absorption durch dieselben Gase bei der Spannung von 5 Zoll zukamen. Wir sehen, dass Ausstrahlung und Absorption einander entsprechen, dass das Molekül, das einen Wärmestrahl aufzufangen vermag, auch im Stande ist, dem entsprechend einen Wärmestrahl auszugeben; kurz, dass die Fähigkeit, Bewegung vom Aether anzunehmen und ihm Bewegung mitzutheilen, einander entsprechende Eigenschaften der gasförmigen Körper sind.

416. Und hier, bei den Gasen, sind wir, wie Sie bemerken, von dem Einflusse der Cohäsion auf die Resul-

tate völlig unabhängig. Bei den festen und flüssigen Körpern sind die Theilchen mehr oder weniger gebunden und können nicht als individuell frei betrachtet werden. So kann zum Beispiel der Unterschied zwischen der ausstrahlenden und absorbirenden Kraft bei Alaun und Steinsalz sehr wohl ihrem Charakter als Aggregate zugeschrieben werden, die durch die Krystallisationskraft zusammengehalten werden. Der Unterschied zwischen ölbildendem Gase und atmosphärischer Luft kann indess auf diese Weise nicht erklärt werden; es ist ein Unterschied, der von den Molekülen dieser Substanzen abhängt; und so ergründen wir durch unsere Versuche mit Gasen und Dämpfen die Frage über die Constitution der Atome bis zu einer Tiefe, die wir bei den festen und flüssigen Körpern nicht erreichen können.

417. Ich habe bis jetzt gezögert, Ihnen nach meinen Versuchen mit dem schon beschriebenen Apparat eine vollständige Tabelle der absorbirenden Kräfte der Gase und Dämpfe zu geben, da ich wusste, dass ich noch Resultate, die ich mit einem anderen Apparat erhielt, im Rückhalte hatte, welche den Gegenstand besser begründen würden. Diese zweite Einrichtung ist im Princip dieselbe wie die erste, nur zwei wichtige Veränderungen sind daran gemacht worden. Die erste ist, dass ich, anstatt einen Würfel mit kochendem Wasser als Wärmequelle zu verwenden, eine Kupferplatte benutzte, gegen die eine kleine, regelmässig brennende Gasflamme aus einem Bunsen'schen Brenner spielt; die erhitzte Platte bildet den Rücken meiner neuen Vorkammer, die, wie vorher, für sich ausgepumpt werden kann. Die zweite Veränderung ist die Einfügung einer Glasröhre von demselben Durchmesser und 2 Fuss 8 Zoll Länge an Stelle der Messingröhre *SS'*, Tafel I. Alle anderen Theile des Apparats

bleiben unverändert, wie sie waren. Die Gase wurden in der schon beschriebenen Weise in die Versuchsröhre eingeführt, und aus der galvanometrischen Ablenkung, die nach dem Eintritt jedes Gases erfolgte, wurde seine Absorptionskraft berechnet.

418. Die folgende Tabelle giebt die relativen Absorptionen durch verschiedene Gase bei dem gemeinsamen Druck einer Atmosphäre:

Name.	Absorption bei einem Druck von 30 Zoll.
Luft	1
Sauerstoff	1
Stickstoff	1
Wasserstoff	1
Chlor	39
Chlorwasserstoff	62
Kohlenoxyd	90
Kohlensäure	90
Stickoxydul	355
Schwefelwasserstoff	390
Sumpfgas	403
Schweflichte Säure	710
Oelbildendes Gas	970
Ammoniak	1195

419. Selbst mit den grössten Hülfsmitteln und empfindlichsten Methoden ist es mir noch nicht gelungen, den Unterschied zwischen Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff und Luft zu bestimmen. Die Absorption durch diese Substanzen ist ausserordentlich gering, wahrscheinlich noch geringer, als ich sie angenommen habe. Je vollkommener die vorgenannten Gase gereinigt worden sind, desto näher schliesst sich ihre Wirkung der des Vacuums an. Und wer kann sagen, dass der beste Trockenapparat vollkommen sei? Ich weiss nicht einmal, ob nicht auch die

reinste Schwefelsäure ein geringes Theilchen ihres Dampfes den durch sie hindurchgehenden Gasen mittheilt, und so die Absorption dieser Gase grösser erscheinen lässt, als sie wirklich ist. Die Hähne müssen auch geölt werden, und können so der durch sie hindurchgehenden Luft eine unmerkliche Unreinheit mittheilen. Wie dem aber auch sei, sicher ist, dass je reiner wir die schwächer wirkenden Gase darstellen, desto mehr werden die ungeheuren Unterschiede der Absorption auf der vorhergehenden Tabelle wachsen.

420. Bei der Spannung einer Atmosphäre übt das Ammoniak eine Absorption aus, die wenigstens 1195 mal grösser ist als die der Luft. Wenn ich diesen Metallschirm zwischen die Säule und die Versuchsröhre stelle, so wird die Nadel sich ein wenig bewegen, aber so wenig, dass Sie es durchaus nicht sehen können. Was besagt dieser Versuch? Dass dieses Ammoniak, das in unserer Glasröhre so durchsichtig wie die Luft ist, die wir athmen, für die strahlende Wärme aus unserer Quelle so undurchlässig ist, dass die Hinzufügung einer Metallplatte kaum seine Undurchlässigkeit vermehrt. Ich habe allen Grund zu glauben, dass dieses ganz durchsichtige Gas in Wahrheit in diesem Augenblick für die Wärmestrahlen so schwarz ist, als wenn unsere Versuchsröhre mit Tinte, Pech oder irgend einer anderen undurchsichtigen Substanz angefüllt wäre.

421. Bei Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff und Luft ist die Wirkung einer ganzen Atmosphäre so gering, dass es ganz nutzlos wäre, zu versuchen, die Wirkung eines Bruchtheils einer Atmosphäre zu bestimmen. Könnten wir indess eine solche Bestimmung machen, so würde der Unterschied zwischen ihnen und den anderen Gasen noch

stärker hervortreten, als auf der letzten Tabelle. Wir wissen, dass bei den kräftig wirkenden Gasen die Wärmestrahlen am reichlichsten von dem Theil des Gases absorbirt werden, der zuerst in die Versuchsröhre eintritt; dass die zuletzt eintretenden Mengen in vielen Fällen nur eine unmerkliche Wirkung ausüben. Wenn wir daher, statt die Gase bei dem gemeinsamen Druck einer Atmosphäre zu vergleichen, sie bei dem gemeinsamen Druck eines Zolls verglichen, würden wir sicher den Unterschied zwischen den am wenigsten und den am meisten absorbirenden Gasen bedeutend vermehrt finden. Wir haben schon erfahren, dass für kleine Mengen die absorbirte Wärme der vorhandenen Gasmenge proportional ist. Wenn wir annehmen, dass dies für die Luft und für die anderen erwähnten schwach wirkenden Gase richtig sei, wenn wir annehmen, dass ihre Absorption bei 1 Zoll Druck $^1/_{30}$ ist von der bei 30 Zoll, so haben wir die folgenden relativen Wirkungen. Ich bemerke, dass in jedem Falle, mit Ausnahme der ersten vier Werthe, die Absorption von 1 Zoll des Gases durch einen directen Versuch bestimmt wurde:

Name.	Absorption bei 1 Zoll Druck.
Luft	1
Sauerstoff	1
Stickstoff	1
Wasserstoff	1
Chlor	60
Brom	160
Kohlenoxyd	750
Bromwasserstoffsäure	1005
Stickoxyd	1590
Stickoxydul	1860
Schwefelwasserstoff	2100
Ammoniak	7260
Oelbildendes Gas	7950
Schweflichte Säure	8800

422. Welchen ausserordentlichen Unterschied in der Beschaffenheit und dem Wesen der letzten Theile der verschiedenen Gase enthüllen die obigen Versuche! Für jeden Strahl, den die Luft, Sauerstoff, Stickstoff oder Wasserstoff zurückhält, vernichtet Ammoniak eine Armee von 7260 Strahlen, ölbildendes Gas eine Armee von 7950, während schweflichte Säure 8800 zerstört. Mit diesen vorliegenden Resultaten können wir es kaum unterlassen, zu versuchen, die Atome selbst sichtbar zu machen, um mit dem geistigen Auge die wirklichen physikalischen Eigenschaften zu unterscheiden, auf denen diese grosse Verschiedenheit beruht. Die Atome sind Theilchen der Materie, die, in ein elastisches Medium getaucht, dessen Bewegungen annehmen und die ihrigen ihm mittheilen. Ist die Hoffnung ganz unbegründet, dass wir die strahlende Wärme zuletzt doch noch zu einem solchen Fühler für die atomistische Beschaffenheit verwenden, und von der Wirkung der Atome auf die Wärmestrahlen auf den Mechanismus der letzten Theilchen der Materie selbst schliessen können?

423. Haben wir nicht jetzt schon eine Ahnung von den für einen stark absorbirenden Körper nöthigen Eigenschaften der Atome? Sie erinnern sich unserer Experimente mit Gold, Silber und Kupfer; Sie erinnern sich, wie schwach sie ausstrahlen und wie schwach sie absorbiren. Wir erwärmten sie durch kochendes Wasser, das heisst, wir theilten durch die Berührung mit dem Wasser ihren Atomen Bewegung mit; diese Bewegung wurde aber mit äusserster Langsamkeit dem Aether mitgetheilt, in dem sie schwangen. Dass ihre Theilchen fast ohne Widerstand durch den Aether gleiten, können wir schon aus der Länge der Zeit schliessen, die sie brauchen, um sich im Vacuum abzukühlen. Wir haben aber gesehen, dass, wenn die Bewegung, die die Atome der obigen

Körper besitzen, und die sie dem Aether mitzutheilen nicht im Stande sind, durch Berührung einem Ueberzug von Firniss, Kalk, Lampenruss oder selbst von Flanell oder Sammet mitgetheilt wird, diese Körper die Bewegungen an den Aether schnell übertragen. Dasselbe fanden wir bei Glas und irdenem Geschirr bestätigt.

424. Wodurch unterscheiden sich diese guten Ausstrahler nun von den vorherbesprochenen Metallen? In einem wesentlichen Punkte — die Metalle sind Elemente; die anderen aber zusammengesetzte Körper. In den Metallen schwingen die Atome einzeln; im Firniss, Sammet, irdenem Geschirr und Glas schwingen sie in Gruppen. Und nun sehen wir bei anderen einfachen Körpern, die doch von den Metallen möglichst verschieden sind, dieselbe bedeutende Thatsache auftreten. Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff und Luft sind Elemente oder Mischungen von Elementen, und wir kennen ihre schwache Wirkung, sowohl bei der Ausstrahlung, als bei der Absorption. Sie schwingen im Aether mit kaum irgend einem Verlust von lebendiger Kraft. Sie verhalten sich zu den zusammengesetzten Gasen, wie ein im Wasser sich drehender glatter Cylinder zu einem Schaufelrad. Sie bewirken eine verhältnissmässig geringe Störung.

425. Sehr überraschend ist die Stellung von Chlor und Brom in der letzten Tabelle. Chlor ist ein ausserordentlich dichtes und gefärbtes Gas; Brom ist ein bei weitem tiefer gefärbter Dampf, und doch stehen sie, was den Durchgang der Wärme unserer Quelle betrifft, weit über irgend einem durchsichtigen, zusammengesetzten Gase in unserer Tabelle. Die Verbindung mit Wasserstoff erzeugt bei jeder dieser Substanzen eine durchsichtige Verbindung; aber der chemische Process, der die Durchsichtig-

keit für Licht vermehrt, vermehrt die Undurchlässigkeit für Wärme; Chlorwasserstoffsäure absorbirt mehr als Chlor, und Bromwasserstoffsäure absorbirt mehr als Brom.

426. Ferner habe ich hier das elementare Brom in flüssigem Zustande; ich schliesse einen Theil davon in diese Glaszelle ein; die Schicht ist von genügender Dicke, um die Flamme der Lampe oder des Lichtes vollkommen auszulöschen. Ich stelle aber eine Kerze vor die Zelle und eine thermo-elektrische Säule hinter sie; die schnelle Bewegung der Nadel zeigt den Durchgang der strahlenden Wärme durch das Brom an. Diese besteht gänzlich aus den dunkeln Strahlen der Kerze, denn das Licht wird, wie ich angeführt habe, vollständig abgeschnitten. Ich nehme die Kerze fort und stelle an ihre Stelle unsere kupferne Kugel, die nicht ganz bis zur Rothglühhitze erwärmt worden ist. Die Nadel fliegt auf einmal bis zu ihren Hemmungen und zeigt die Durchlässigkeit des Broms für die Wärme an, die die Kugel ausstrahlt. Es ist nach meiner Meinung unmöglich, unsere Augen diesem übereinstimmenden Zeugniss zu verschliessen, dass die freien Atome leicht im Aether schwingen, während bei ihrer Vereinigung zu schwingenden Systemen die Wellen des Aethers neben ihnen anschwellen, indem sie ihm, als zusammengesetzte Moleküle, eine weit grössere Bewegungsmenge mittheilen, als sie es vor ihrer Verbindung vermochten.

427. Es wird Ihnen aber ohne Zweifel auffallen, dass Lampenruss, der doch auch eine elementare Substanz ist, einer der besten Absorbenten und Ausstrahler in der Natur ist. Wir wollen diese Substanz näher untersuchen: gewöhnlicher Lampenruss enthält viele Unreinheiten; er hat viel Kohlenwasserstoff in sich verdichtet, und dieser Kohlenwasserstoff ist ein mächtiger Ausstrahler und Absor-

bent. Lampenruss also, wie er bisher angewendet wurde, kann kaum als ein Element betrachtet werden. Ich habe deshalb die Kohlenwasserstoffe zum grossen Theil entfernt, indem ich durch rothglühenden Lampenruss einen Strom von Chlorgas leitete, aber die Substanz strahlte und absorbirte die Wärme nach wie vor gleich gut. Was ist Lampenruss? Die Chemiker werden Ihnen sagen, dass er eine allotrope Form des Diamanten sei; hier ist in der That ein Diamant, der durch grosse Hitze in Holzkohle verwandelt worden ist. Nun hat man lange die allotrope Beschaffenheit einer Verschiedenheit in der Anordnung der Körpertheilchen zugeschrieben. Es ist also denkbar, dass diese Anordnung, die eine so bedeutende physikalische Verschiedenheit zwischen Lampenruss und Diamant bewirkt, aus einer Atomgruppirung bestehen könne, die den Körper nöthigt, wie eine Verbindung auf strahlende Wärme zu wirken. Eine solche Anordnung eines Elementes ist, wenn auch ungewöhnlich, doch denkbar, und ich werde Ihnen dies recht auffällig an der allotropen Form unseres sehr unempfindlichen Sauerstoffs nachweisen.

428. In Wirklichkeit ist der Lampenruss aber nicht so undurchdringlich, als Sie denken mögen. Melloni hat gezeigt, dass er in einem unerwarteten Maasse durchlässig für strahlende Wärme ist, die von einer Quelle von niederer Temperatur ausströmt, und ich habe einen Versuch vorbereitet, der den seinen bestätigt. Hier ist eine Steinsalzplatte, die über eine rauchende Lampe gehalten wurde und dadurch so dick mit Russ überzogen ist, dass sie keinen Lichtschimmer von der blendendsten Gasflamme hindurchlässt. Ich stelle die Platte auf ihren Ständer, und zwischen sie und dieses Gefäss mit kochendem Wasser, das uns als Wärmequelle dienen soll, stelle

ich einen Schirm. Die thermo-elektrische Säule ist auf der anderen Seite der berussten Platte. Die Nadel steht jetzt auf Null, und ich ziehe meinen Schirm fort; augenblicklich bewegt sich die Nadel, und ihre letzte und permanente Abweichung ist 52°. Ich will jetzt das Salz vollständig reinigen und die Ausstrahlung durch die unberusste Platte bestimmen: sie ist 71°. Nun ist der Werth der Ablenkung 52°, in unserer gewöhnlichen Einheit ausgedrückt gleich 85, und der Werth von 71° oder die gesammte Ausstrahlung ist ungefähr 222. Daher verhält sich die Ausstrahlung durch den Russ zu der ganzen Ausstrahlung wie

$$222 : 85 = 100 : 38$$

das heisst, 38 Procent der auffallenden Wärme sind durch die Schicht von Lampenruss durchgelassen worden.

429. Methyljodid wird durch die Verbindung des Elementes Jod mit dem Radical Methyl gebildet. Wird dasselbe dem Licht ausgesetzt, so wird gewöhnlich ein Theil des Jods frei und färbt die Flüssigkeit tiefbraun. In einer Reihe von Versuchen über die Ausstrahlung von Wärme durch Flüssigkeiten verglich ich die Durchlässigkeit einer tiefgefärbten Probe von Methyljodid mit der einer vollkommen durchsichtigen; es zeigte sich kein Unterschied zwischen ihnen. Das Jod, das eine so grosse Wirkung auf das Licht hervorbrachte, berührte kaum merklich die strahlende Wärme. Hier sind die Zahlen, die die Procente der gänzlichen Ausstrahlung ausdrücken, welche von der durchsichtigen und gefärbten Flüssigkeit aufgefangen wurden:

	Absorption Proc.
Methyljodid (durchsichtig)	53,2
„ (stark mit Jod gefärbt)	53,2

Die Wärmequelle war in diesem Falle eine Spirale von Platindraht, die durch einen elektrischen Strom hellrothglühend gemacht worden war. Sah man durch die gefärbte Flüssigkeit, so war die rothglühende Spirale sichtbar. Ich verdunkelte daher die Farbe absichtlich, indem ich Jod hinzusetzte, bis die Lösung von genügender Undurchsichtigkeit war, um das Licht einer hellen Gasflamme vollständig abzuschneiden. Die Durchsichtigkeit der Flüssigkeit für die strahlende Wärme war durch den Zusatz des Jods nicht merklich verändert. Die leuchtende Wärme war natürlich abgeschnitten; aber diese war im Vergleich zu der ganzen Ausstrahlung so gering, dass sie bei den Versuchen unmerkbar war.

430. Es ist bekannt, dass sich Jod leicht in Schwefelkohlenstoff auflöst; die Farbe der Lösung ist in dünnen Schichten ein glänzendes Purpurroth, doch in Schichten von mässiger Dicke kann sie vollkommen undurchsichtig für das Licht gemacht werden. Ich löste eine so grosse Quantität Jod in der Flüssigkeit auf, dass sie in einer Glaszelle von 0,07 Zoll Dicke das Licht einer sehr hellen Gasflamme auslöschte. Als ich die undurchsichtige Lösung mit dem durchsichtigen Schwefelkohlenstoff verglich, erhielt ich folgende Resultate:

	Absorption.
Schwefelkohlenstoff (undurchsichtig)	12,5
„ (durchsichtig) .	12,5

Hier war die Gegenwart einer Menge Jod, die für das glänzendste Licht vollkommen undurchsichtig war, ohne messbare Wirkung auf die Wärme, die unsere Platinspirale ausströmte.

431. Dieselbe Flüssigkeit wurde in eine Zelle von 0,27 Zoll Dicke gethan; d. h. eine Lösung, die für das Licht

bei einer Dicke von 0,07 Zoll vollkommen undurchsichtig war, wurde in einer fast viermal so dicken Schicht benutzt. Folgendes sind die Resultate:

		Absorption.
Schwefelkohlenstoff	(durchsichtig) .	18,8
"	(undurchsichtig)	19,0

Der Unterschied zwischen beiden Messungen liegt innerhalb der Beobachtungsfehler.

432. Ich habe schon Gelegenheit gehabt, in Ihrer Gegenwart das Licht der elektrischen Lampe zu zerlegen und das Spectrum des Lichts auf den hinter mir befindlichen Schirm zu werfen. Für diesen Zweck benutzte ich ein Prisma von durchsichtigem Schwefelkohlenstoff. Die Flüssigkeit ist in einer keilförmigen Flasche mit ebenen Glasseiten enthalten; sie zieht die Farben sehr weit von einander und bringt eine schönere Wirkung hervor, als man durch ein Glasprisma erhalten könnte. Meine Absicht ist jetzt, ein kleines Spectrum auf diesen schmalen Schirm zu werfen. Hinter den Schirm habe ich meine thermo-elektrische Säule aufgestellt, die mit dem grossen Galvanometer vor dem Tische verbunden ist. Das Spectrum ist, wie Sie sehen, ungefähr 1½ Zoll breit und 2 Zoll lang; seine Farben sind durch Concentration sehr lebhaft gemacht worden. Würde ich den Schirm wegnehmen, so würde das Roth und das ultrarothe Ende des Spectrums auf die dahinter stehende Säule fallen, und sicher einen thermo-elektrischen Strom hervorrufen. Ich wünsche aber nicht, dass etwas von dem Licht auf das Instrument falle; ich möchte Ihnen zeigen, dass wir auch ein Spectrum haben, das Sie nicht sehen können, und dass Sie das nichtleuchtende Spectrum vollkommen von dem leuchtenden loslösen können. Hier ist nun ein zweites Prisma, das

mit einer Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff gefüllt ist. Ich entferne das durchsichtige Prisma und stelle das undurchsichtige genau an seine Stelle. Das Spectrum ist verschwunden; es ist kein Lichtstreif mehr auf dem Schirm, ein Wärmespectrum ist aber doch noch da. Die dunkeln Strahlen der elektrischen Lampe haben die undurchsichtige Flüssigkeit durchschnitten, sind gleich den leuchtenden gebrochen worden und fallen jetzt, obgleich unsichtbar, auf den vor Ihnen stehenden Schirm. Ich beweise dies, indem ich den Schirm entferne; kein Licht fällt auf die Säule, aber Sie sehen, dass die auf sie fallende Wärme die Nadel unseres grossen Galvanometers heftig seitwärts ablenkt.

433. Ich habe Ihnen die Wirkung von Gasen auf strahlende Wärme mit unserer gläsernen Versuchsröhre und mit unserer neuen Wärmequelle gezeigt. Lassen Sie mich nun auf die Wirkung von Dämpfen, die mit demselben Apparat untersucht wurden, zurückkommen. Ich habe hier mehrere Glasflaschen, deren jede mit einem messingenen Deckel versehen ist, an den ein Hahn angeschraubt werden kann. In jede giesse ich eine Menge einer flüchtigen Flüssigkeit, verwende aber für jede Flüssigkeit eine besondere Flasche, so dass ich die Vermischung der Dämpfe unmöglich mache. Aus jeder Flasche entferne ich die Luft, nicht nur die Luft oberhalb der Flüssigkeit, sondern auch die in ihr aufgelöste Luft. Die letztere entfernt sich in Blasen, sowie die Flasche ausgepumpt wird; ich befestige nun meine Flasche an der entleerten Versuchsröhre und lasse den Dampf eintreten, ohne dass dabei die Flüssigkeit ins Sieden kommt. Die Quecksilbersäule der Pumpe sinkt, und wenn ich den erforderlichen Druck erreicht habe, schliesse ich den ferneren Zutritt des Dampfes ab. Auf diese Art sind die Dämpfe der in der folgenden Tabelle angeführten

Substanzen bei dem Druck von 0,1, 0,5 und 1 Zoll nacheinander untersucht worden.

	Absorption durch die Dämpfe bei einem Drucke von		
	0,1	0,5	1,0
Schwefelkohlenstoff	15	47	62
Methyljodid	35	147	242
Benzol	66	182	267
Chloroform	85	182	236
Methylalkohol	109	390	590
Amylen	182	535	823
Schwefeläther	300	710	870
Alkohol	325	622	
Ameisenäther	480	870	1075
Essigäther	590	980	1195
Propionsaures Aethyloxyd	596	970	
Borsäure	620		

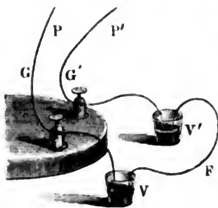
434. Diese Zahlen beziehen sich auf die Absorption einer ganzen Atmosphäre von trockner Luft als Einheit; das heisst, Schwefelkohlenstoffdampf von $^1/_{10}$ Zoll Druck wirkt 15mal so stark als atmosphärische Luft bei 30 Zoll Druck; während Dampf von Borsäureäther von $^1/_{10}$ Zoll Druck 620mal so stark wirkt, als eine ganze Atmosphäre atmosphärischer Luft. Wenn wir Luft beim Druck von 0,01 mit Boräther bei demselben Druck vergleichen, so ist die Absorption des letzteren wahrscheinlich 180,000mal grösser als die der ersteren.

Anhang zum zehnten Kapitel.

Ich gebe hier eine Methode an, um das Galvanometer zu graduiren, die Melloni empfiehlt, da sie an Leichtigkeit, Geschwindigkeit und Genauigkeit nichts zu wünschen übrig liesse. Seine eigene Angabe der Methode, in „La Thermochrose", pag. 59, ist folgende:

Man füllt zwei kleine Gefässe VV' bis zur Hälfte mit Quecksilber, und verbindet sie durch zwei Drähte mit den Enden GG' des Galvanometers. Die so angeordneten Gefässe und Drähte verändern nichts an der Wirkung des Instruments, und der thermoelektrische Strom wird unbehindert, wie vorher, durch die gewöhnlichen Drähte PP' von der Säule dem Galvanometer zugeführt. Wenn man aber vermittelst eines Drahtes F eine Verbindung zwischen beiden Gefässen herstellt, so wird ein Theil des Stromes durch diesen Draht gehen und nach der Säule zurückkehren; die Elektricitätsmenge, die durch das Galvanometer strömt, wird dadurch vermindert, und mit ihr die Ablenkung der Nadel.

Fig. 95.



Nehmen wir an, dass wir durch diesen Kunstgriff die galvanometrische Ablenkung auf ein Viertel oder Fünftel zurückführen; oder nehmen wir, mit anderen Worten, an, dass die

Nadel, die unter der Einwirkung einer ständigen Wärmequelle, die in gewisser Entfernung von der Säule sich befand, auf 10 oder 12 Grad zeigte, auf 2 oder 3 Grad sinkt, wenn ein Theil des Stromes durch den äusseren Draht abgelenkt wird; so haben wir, wenn wir die Entfernung von der Quelle ändern und jedesmal die gänzliche und die verminderte Ablenkung beobachten, alle Angaben, um das Verhältniss zwischen den Ablenkungen der Nadel und den sie bewirkenden Kräften zu bestimmen.

Um die Erklärung deutlicher zu machen und um zu gleicher Zeit ein Beispiel des Verfahrens zu geben, will ich die auf die Anwendung dieser Methode bezüglichen Zahlen für einen meiner Thermomultiplicatoren geben.

Der äussere Schliessungskreis wurde unterbrochen, die Wärmequelle weit genug von der Säule entfernt, um am Galvanometer nur eine Ablenkung von 5 Grad zu erzeugen, und nun der Draht zwischen V und V' eingeschaltet; die Nadel fiel dabei auf 1,5°. Nachdem die Verbindung der beiden Gefässe von Neuem unterbrochen worden war, wurde die Wärmeqnelle so weit genähert, dass man nach einander die Ablenkungen erhielt:

5°. 10°. 15°. 20°. 25°. 30°. 35°. 40°. 45°.

Wenn man nach jeder Ablenkung denselben Draht zwischenfügte, erhielt man folgende Zahlen:

1,5°. 3°. 4,5°. 6,3°. 8,4°. 11,2°. 15,3°. 22,4°. 29,1°.

Nehmen wir also an, dass die Kraft, durch welche die Nadel um einen Grad abgelenkt wird, gleich Eins sei, und innerhalb der ersten Grade die Ablenkung der ablenkenden Kraft proportional ist, so werden wir zuerst 5 als Ausdruck der Kraft bei der ersten Beobachtung haben. Die anderen Kräfte erhält man leicht durch die Proportion:

$$1{,}5 : 5 = a : x, \text{ also } x = \frac{5}{1{,}5}\, a = 3{,}333\, a \text{ *)}.$$

*) Das heisst, unser verminderter Strom verhält sich zu dem ganzen Strom, dem er entspricht, wie jeder andere verminderte Strom zu seinem entsprechenden totalen Strom.

a stellt die Ablenkung der Nadel dar, wenn der äussere Schliessungskreis geschlossen ist. Man wird also erhalten:

5. 10. 15,2. 21. 28. 37,3.

für die Kräfte, die den Ablenkungen

5°. 10°. 15°. 20°. 25°. 30°.

entsprechen.

Bei diesem Instrumente sind die Kräfte also mit den Bogen bis auf 15 Grad ziemlich proportional. Weiter hinauf hört die Proportionalität auf und der Unterschied wächst, wenn die Ablenkung grösser wird. Darum hat man die Rechnung nicht über den 30sten Grad geführt, da dann der Werth von *a* die Grenze der Proportionalität übersteigt.

Die Kräfte, die den dazwischen liegenden Graden entsprechen, sind leicht zu bestimmen, entweder durch Rechnung, oder durch graphische Construction, die für diese Bestimmungen vollkommen ausreichend ist.

Auf diese Art finden wir:

Grade	13°.	14°.	15°.	16°.	17°.	18°.	19°.	20°.	21°.
Kräfte	13.	14,1.	15,2.	16,3.	17,4.	18,6.	19,8.	21.	22,2.
Unterschiede . .		1,1.	1,1.	1,1.	1,2.	1,2.	1,2.	1,2.	1,3.
Grade	22°.	23°.	24°.	25°.	26°.	27°.	28°.	29°.	30°.
Kräfte	23,5.	24,9.	26,4.	28.	29,7.	31,5.	33,4.	34,3.	37,3.
Unterschiede .		1,4.	1,5.	1,6.	1,7.	1,8.	1,9.	1,9.	2.

Es ist in dieser Tabelle keine Rede von den Graden, die dem 13ten vorausgehen, da die jedem von ihnen entsprechende Kraft genau denselben Werth wie die Ablenkung hat.

Da wir die Kräfte kennen, die den 30 ersten Graden zugehören, so ist nichts leichter, als die Werthe der entsprechenden Kräfte bei 35, 40 und 45 Graden und weiter hinauf zu bestimmen.

Die verminderten Ablenkungen dieser drei Bogen sind:

15,3°. 22,4°. 29,7°.

Wir wollen sie getrennt betrachten und bei der ersten anfangen.

Es sind also zuerst 15 Grad nach unserer Tabelle gleich 15,2; wir erhalten den Werth der Decimale 0,3, indem wir diesen Bruch mit dem Unterschiede 1,1 multipliciren, der zwi-

schen dem 15ten und 16ten Grade besteht; denn wir haben augenscheinlich das Verhältniss

$$1 : 1{,}1 = 0{,}3 : x, \text{ also } x = 0{,}3.$$

Der Werth der verminderten Ablenkung, die dem 35sten Grade entspricht, wird also nicht 15,3° sein, sondern 15,2° + 0,3 = 15,5°. Man wird vermöge ähnlicher Betrachtungen finden 23,5° + 0,6° = 24,1°, statt 22,4°, und 35,1° + 1,4° = 36,7° statt 29,7° für die verminderten Ablenkungen von 40 und 45 Grad.

Es bleibt jetzt nur noch übrig, den Werth der Kräfte zu berechnen, die den drei Ablenkungen 15,5°, 24,1° und 36,7°, zugehören. Durch den Ausdruck 3,333 a erhält man

die Kräfte	51,7.	80,3.	122,3;
die Grade	35.	40.	45.

Wenn wir diese Zahlen mit denen der vorigen Tabelle vergleichen, so sehen wir, dass die Empfindlichkeit unseres Galvanometers bedeutend abnimmt, wenn man Ablenkungen benutzt, die grösser als 30 Grad sind.

Elftes Kapitel.

Wirkung wohlriechender Substanzen auf strahlende Wärme. — Wirkung von Ozon auf strahlende Wärme. — Bestimmung der Ausstrahlung und Absorption der Gase und Dämpfe ohne irgend eine ausserhalb des gasförmigen Körpers liegende Wärmequelle. — Dynamische Ausstrahlung und Absorption. — Strahlung durch die Atmosphäre der Erde. — Einfluss der Wasserdämpfe der Atmosphäre auf strahlende Wärme. — Beziehung des Strahlungs- und Absorptionsvermögens der Wasserdämpfe zu den meteorologischen Erscheinungen.

Anhang: Weitere Einzelheiten über die Wirkung der feuchten Luft.

435. Wohlgerüche und schlechte Dünste haben im Allgemeinen schon lange die Aufmerksamkeit denkender Männer auf sich gelenkt, und sie haben beliebte Beispiele für die „Theilbarkeit der Materie“ abgegeben. Nie hat ein Chemiker den Duft der Rose gewogen; wir haben aber in der strahlenden Wärme einen genaueren Prüfstein als die Wage des Chemikers. Nach den Resultaten, die Sie im vorigen Kapitel kennen gelernt haben, werden Sie sich nicht wundern, wenn ich behaupte, dass die Menge der flüchtigen Substanz, welche aus einem Fläschchen mit Riechsalz entweicht, wenn jemand von Ihnen nur einmal daran riecht, eine kräftigere Wirkung auf die strahlende Wärme ausüben würde, als die ganze Menge von Sauerstoff und Stickstoff, die dieses Zimmer enthält; wir wollen

diese Probe an anderen Gerüchen machen und sehen, ob sie nicht auch, trotz ihrer fast unendlichen Verdünnung, einen messbaren Einfluss auf strahlende Wärme ausüben.

436. Ich will auf folgende einfache Weise verfahren. Hier ist eine Anzahl kleiner und gleicher viereckiger Stücke Filtrirpapier, die ich zu kleinen Cylindern von je zwei Zoll Länge aufrolle; ich feuchte den Papiercylinder an, indem ich das eine Ende in ein aetherisches Oel tauche; das Oel verbreitet sich vermöge der capillaren Attraction durch das Papier und jetzt ist die ganze Rolle feucht. Ich führe diese Rolle in ein Glasrohr, welches so weit ist, dass der Papiercylinder es füllt, ohne gedrückt zu werden, und zwischen meinen Trockenapparat und die Versuchsröhre bringe ich die Röhre, die das wohlriechende Papier enthält. Die Versuchsröhre ist jetzt entleert und die Nadel auf Null; drehe ich diesen Hahn auf, so lasse ich langsam trockne Luft durch die Falten des gesättigten Papiers streichen. Die Luft nimmt den Duft des aetherischen Oels auf und führt ihn in die Versuchsröhre. Wir nehmen die Absorption einer Atmosphäre trockner Luft als Einheit an, und jede hinzukommende Absorption, die diese Versuche zeigen, muss dem Wohlgeruch zugeschrieben werden, der die Luft begleitet.

437. Die folgende Tabelle wird eine gedrängte Uebersicht von der Absorption der in ihr angeführten Substanzen geben; die Absorption der Luft beim Druck einer Atmosphäre ist als Einheit angenommen worden:

Wohlgerüche.

Namen.	Absorption.
Patchouli	30
Sandelholz	32
Geranium	33
Nelkenöl	33,5
Rosenöl	36,5
Bergamot	44
Neroli	47
Lavendel	60
Citronenöl	65
Orangenöl	67
Thymian	68
Rosmarin	74
Lorbeeröl	80
Kamillen	87
Cassiaöl	109
Spike	355
Anis	372

438. Die Zahl der Luftatome hier in der Röhre muss als fast unendlich gross im Vergleich mit denen der Gerüche angesehen werden; und doch haben die letzteren, so sparsam sie zerstreut sind, beim Patchouli eine 30mal so grosse Wirkung als die Luft; Rosenöl wirkt 36mal so stark als Luft, Thymian 74mal; Spike 355mal und Anis 372mal. Es würde thöricht sein, über die Menge der Materie zu speculiren, die bei diesen Versuchen angewendet wird. Wahrscheinlich müsste sie millionenmal genommen werden, um den Druck der gewöhnlichen Luft zu erreichen. So verdankt

Der milde Südwind
Der über einem Veilchenbeete athmet,
Düfte nehmend und gebend,

seinen süssen Wohlgeruch einem Agens, welches, obgleich fast unendlich verdünnt, doch die irdische Strahlung kräftiger verhindern kann, als die ganze Atmosphäre vom Himmel bis zur Erde.

439. Neben diesen Versuchen über die ätherischen Oele wurden noch andere über aromatische Kräuter gemacht. Einige derselben erhielt ich vom Covent Garden Markt; sie waren, nach der gewöhnlichen Ausdrucksweise, trocken, d. h. sie waren nicht grün, sondern verwelkt. Und doch fürchte ich, dass die mit ihnen erhaltenen Resultate wegen der möglichen Beimischung von Wasserdämpfen nicht als rein betrachtet werden können. Die aromatischen Theile der Pflanzen wurden in eine Glasröhre von 18 Zoll Länge und ein Viertel Zoll Durchmesser gestopft. Ehe sie mit der Versuchsröhre verbunden wurden, wurden sie an der Luftpumpe befestigt, und trockne Luft auf einige Minuten durch sie geführt. Sie wurden dann mit der Versuchsröhre verbunden und wie die wohlriechenden Oele behandelt; der einzige Unterschied war, dass die Kräuter eine Länge von 18 Zoll statt von 2 Zoll einnahmen.

Thymian zeigte hierbei eine 33mal grössere Wirkung, als die über ihn geleitete Luft.

Pfeffermünz wirkte 34mal so stark als die Luft.

Frauenmünze wirkte 38mal so stark als die Luft.

Lavendel wirkte 32mal so stark als die Luft.

Wermuth wirkte 41mal so stark als die Luft.

Zimmet wirkte 53mal so stark als die Luft.

Wie ich schon andeutete, fürchte ich, dass diese Resultate durch die Einwirkung der Wasserdämpfe complicirt sein könnten; ihre Menge muss indess unmerklich sein.

440. Es giebt noch eine Substanz von grossem Interesse für den Chemiker, die wir der Probe der strahlenden Wärme aussetzen können. Wir können sie indess nur in so kleinen Mengen erhalten, dass sie fast der Messung entgehen. Ich meine die merkwürdige Substanz, das

Ozon. Man weiss, dass dieser Körper an der positiven Elektrode frei wird, wenn Wasser durch einen elektrischen Strom zersetzt wird. Ich habe drei verschiedene Zersetzungszellen construirt, um die Wirkung des Ozons zu untersuchen. Bei der ersten, die ich Nro. 1 nennen will, hatten die als Elektroden benutzten Platinplatten eine Oberfläche von ungefähr vier Quadratzoll; die Platten der zweiten (Nro. 2) hatten zwei Quadratzoll Oberfläche, während die Platten der dritten (Nro. 3) nur einen Quadratzoll Oberfläche hatten.

441. Der Grund, weshalb ich Elektroden von verschiedener Grösse benutzte, war folgender: Als ich zuerst strahlende Wärme bei der Untersuchung von Ozon anwandte, construirte ich eine Zersetzungszelle, in der ich, um den Widerstand des Stromes zu vermindern, sehr grosse Platinplatten anwandte. Der so gewonnene Sauerstoff, der doch das Ozon enthalten sollte, zeigte kaum irgend eine Reaction auf diese Substanz. Er entfärbte kaum Jodkalium und war fast ohne Wirkung auf die strahlende Wärme. Ich versuchte einen zweiten Zersetzungsapparat mit kleineren Platten, und fand, dass hier die Wirkung, sowohl auf Jodkalium, als auf strahlende Wärme sehr entschieden war. Da es unmöglich war, diese Verschiedenheit einer anderen Ursache zuzuschreiben, als der verschiedenen Grösse der Platten, so griff ich meinen Gegenstand ernstlich an, indem ich mit den vorherbeschriebenen drei Zellen arbeitete. Nennen wir die Wirkung des reinen elektrolytischen Sauerstoffs Eins, so giebt die folgende Tabelle die des ihn begleitenden Ozons:

Zelle.	Absorption.
Nro. 1	20
Nro. 2	34
Nro. 3	47

442. So wirkte die kleine Menge des Ozons, das den Sauerstoff begleitete, und im Vergleich zu dem es fast verschwindet, bei den ersten Platten 20mal so stark, als der Sauerstoff selbst, während bei dem dritten Plattenpaar das Ozon 47mal stärker wirkte, als der Sauerstoff. Durch diese Versuche wird der Einfluss der Grösse der Platten oder, in anderen Worten, der Dichtigkeit des Stromes, wo er in die Flüssigkeit eintritt, auf die Bildung von Ozon überzeugend dargelegt.

443. Ich schnitt Theile von den Platten der Zelle Nro. 2 ab, so dass sie noch kleiner wurden, als die von Nro. 3. Die Verkleinerung der Platten war von einer Zunahme der Wirkung auf die strahlende Wärme begleitet; die Absorption stieg auf einmal von 34 auf

65.

Die verkleinerten Platten von Nro. 2 übertreffen hier die von Nro. 3, die bei den ersten Versuchen die grösste Wirkung ausübten.

Die Platten von Nro. 3 wurden dann verkleinert, so dass sie die kleinsten von allen wurden. Das nun durch Nro. 3 entwickelte Ozon übte ein Absorption von

85

aus. So sehen wir, dass die Wirkung auf strahlende Wärme mit der Abnahme der Grösse der Elektroden zunimmt.

Es ist bekannt, dass die Wärme sehr zerstörend auf Ozon wirkt, und da ich vermuthete, dass sich bei den kleinen zuletzt benutzten Elektroden der Zelle Wärme entwickelte, so umgab ich die Zelle mit einer Mischung von gestossenem Eis und Salz. Bei dieser Kälte stieg die Absorption des entwickelten Ozons auf

136.

444. Diese Resultate entsprechen vollkommen denen, die die Herren de la Rive, Soret und Meidinger erhalten haben, obgleich zwischen unseren Versuchsmethoden keine Aehnlichkeit besteht. Eine solche Uebereinstimmung erhöht mit Recht unser Vertrauen in die strahlende Wärme bei der Erforschung der molekularen Beschaffenheit *).

---

*) Herr Meidinger fängt seinen Aufsatz damit an, dass er den Mangel an Uebereinstimmung zwischen Theorie und Versuch bei der Zersetzung des Wassers nachweist; die Abweichung zeigte sich sehr entschieden in einem Mangel an Sauerstoff, wenn der Strom stark war. Er fand, dass bei der Erwärmung seines Elektrolyten diese Verschiedenheit verschwand, da dann die richtige Menge von Sauerstoff frei wurde. Er schloss sogleich, dass dieser Mangel an Sauerstoff von der Bildung von Ozon abhinge; aber wie wirkte die Substanz, um eine Abnahme des Sauerstoffs hervorzurufen? War der Mangel der grossen Dichtigkeit des Ozons zuzuschreiben, so müsste die Zerstörung dieser Substanz durch Wärme dem Sauerstoff sein wahres Volum zurückgeben. Doch brachte starke Erwärmung, die das Ozon zerstörte, keine Veränderung des Volums hervor, woraus Herr Meidinger schloss, dass die Wirkung, die er beobachtete, nicht von dem Ozon herrührte, das mit dem Sauerstoff gemischt blieb. Er schloss endlich und bewies seine Schlüsse durch befriedigende Versuche, dass der Verlust an Sauerstoff der Bildung von Wasserstoffsuperoxyd im Wasser durch das Ozon zuzuschreiben ist; der Sauerstoff würde so der Röhre entzogen, in die er gehörte. Er, wie auch Herr de la Rive vor ihm, experimentirte mit Elektroden von verschiedener Grösse und fand den Verlust an Sauerstoff bei einer kleinen Elektrode bei weitem bedeutender, als bei einer grösseren, woraus er schloss, dass die Bildung von Ozon durch die Vermehrung der Dichtigkeit des Stromes an der Stelle, wo Elektrode und Elektrolyt sich begegnen, erleichtert würde. Zu demselben Schluss kommt man durch die obigen Versuche über strahlende Wärme. Es giebt nichts verschiedeneres als diese zwei Methoden. Herr Meidinger suchte den verschwundenen Sauerstoff und fand ihn in der Flüssigkeit; ich untersuchte den freigewordenen Sauerstoff und fand, dass das ihm beigemischte Ozon an Menge zunahm, wenn die Elektrode an Grösse abnahm. Ich kann noch hinzufügen, dass seitdem ich Herrn Meidinger's Abhandlung gelesen habe, ich die Versuche mit meinen eigenen Zersetzungszellen wiederholt und gefunden habe, dass die, die mir die grösste Absorption gaben, auch den grössten Mangel an freigewordenem Sauerstoff zeigten.

445. Die Mengen des Ozons, die bei den vorhergehenden Versuchen in Thätigkeit traten, müssen durch gewöhnliche Mittel ganz unmessbar sein. Und doch ist seine Wirkung auf strahlende Wärme so gross, dass es als absorbirender Körper neben ölbildendes Gas oder Borsäureäther gestellt werden kann. Bei gleicher Masse möchte es beide übertreffen. Keins von den elementaren Gasen, die ich untersucht habe, verhält sich nur annähernd wie Ozon. Bei seinen Schwingungen durch den Aether muss es dieses Medium stark erschüttern. Wenn es Sauerstoff wäre, so müssten es Sauerstoffatome sein, die in Gruppen vereinigt sind. — Auf die folgende Art versuchte ich die Frage zu lösen, ob es Sauerstoff sei oder eine Verbindung von Wasserstoff. Wärme zerstört das Ozon. Wäre es Sauerstoff allein, so würde die Wärme es in gewöhnliches Sauerstoffgas überführen. Wäre es eine Wasserstoffverbindung, wie einige Chemiker meinen, so würde die Wärme es in Sauerstoff und Wasserdampf verwandeln. Das Gas allein würde in meiner Röhre die neutrale Wirkung des Sauerstoffs geben, aber das Gas plus Wasserdampf würde, wie ich erwartete, eine merklich stärkere Wirkung ausüben. Ich liess zuerst das getrocknete elektrolytische Gas durch eine bis zur Rothglühhitze erwärmte Glasröhre gehen, und dann direct in die Versuchsröhre. Es wurde sodann nach der Erwärmung durch eine Trockenröhre in die Versuchsröhre eingelassen. Bisher konnte ich keinen Unterschied zwischen getrocknetem und nicht getrocknetem Gase mit Sicherheit feststellen. Wenn daher die Erwärmung Wasserdämpfe entwickelte, so waren die bis jetzt angewendeten experimentellen Hülfsmittel noch nicht genügend, sie zu entdecken. Für jetzt halte ich daher den Glauben aufrecht, dass das Ozon durch die Vereinigung der Atome von elementarem Sauerstoff zu

schwingenden Gruppen gebildet wird, dass die Erwärmung den Verband löst und den Atomen gestattet, einzeln zu schwingen. Sie würden dadurch unfähig werden, Bewegung sowohl aufzufangen, als auch zu erregen, was sie indess sehr wohl bei ihrer Vereinigung zu Systemen zu thun vermöchten*).

446. Ich will jetzt Ihre Aufmerksamkeit auf eine Reihe von Thatsachen lenken, die mich überraschten und verwirrten, als ich sie zuerst beobachtete. Ich liess bei einer Gelegenheit eine Menge von Alkoholdampf, die genügend war, die Quecksilbersäule um 0,5 eines Zolls niederzudrücken, in die Versuchsröhre eintreten; sie bewirkte eine Ablenkung von 72°. Während die Nadel auf diese hohe Zahl zeigte und ehe ich den Dampf auspumpte, liess ich trockne Luft in die Röhre strömen und sah, als sie eintrat, auf das Galvanometer.

447. Die Nadel fiel zu meinem Erstaunen auf Null und ging bis 25° nach der anderen Seite. Der Eintritt der unwirksamen Luft neutralisirte nicht nur die vorher beobachtete Absorption, sondern liess die Wagschale bedeutend zu Gunsten der Seite der Säule steigen, die der Wärmequelle zugekehrt war. Bei der Wiederholung dieses Versuches ging die Nadel von 70° auf Null und bis 38° auf die andere Seite. In gleicher Weise rief eine kleine Menge Schwefelätherdampf eine Ablenkung von 30° hervor; als ich die Röhre mit trockner Luft füllte, ging die Nadel schnell auf Null und schwang bis 60° auf der entgegengesetzten Seite aus.

Als ich diese ausserordentliche Wirkung sah, war mein erster Gedanke, dass sich die Dämpfe in undurch-

*) Dieses ist, wie ich glaube, die allgemeine Annahme (December 1864).

lässigen Häutchen auf den Steinsalzplatten niedergeschlagen hätten, und dass die trockne Luft bei ihrem Eintritt diese Häutchen entfernt und der Wärme von der Quelle freien Durchgang verschafft hätte.

448. Ein kurzes Nachdenken genügte, um das Irrige dieser Vermuthung zu erkennen. Das Wegräumen dieser Häutchen konnte höchstens die Lage der Dinge vor dem Eintritt des Dampfes wieder herstellen. Es könnte möglicher Weise die Nadel wieder auf 0 Grad bringen, aber nicht eine negative Ablenkung bewirken. Dessen ungeachtet zerlegte ich meine Röhre und unterwarf die Salzplatten einer genauen Prüfung. Ich konnte keinen Niederschlag wie den vermutheten beobachten. Das Salz blieb während der Berührung mit dem Dampf vollkommen durchsichtig. Welchen Grund kann man nun für die Wirkung angeben?

449. Wir haben schon die Wärmewirkung kennen gelernt, die eintritt, wenn Luft in ein Vacuum strömt. Wir wissen, dass die Luft durch ihren Stoss gegen die Seiten des Recipienten erwärmt wird. Wäre es möglich, dass die so erzeugte Wärme durch die Luft dem Alkohol und den Aetherdämpfen mitgetheilt und von ihnen gegen die Säule ausgestrahlt wird und für die Absorption einen mehr als genügenden Ersatz giebt? Das entscheidende Experiment bietet sich hier gleich von selbst dar. Wenn die beobachtete Wirkung der Erwärmung der Luft beim Eintritt in den luftverdünnten Raum, in dem der Dampf vertheilt ist, zuzuschreiben wäre, so müssten wir dieselbe Wirkung erhalten, wenn wir die bisher benutzten Wärmequellen vollständig entfernten. Wir werden so zu dem neuen und im ersten Augenblick vollkommen paradox erscheinenden Problem geführt, die Ausstrahlung und Absorption eines Gases oder Dampfes ohne eine

Wärmequelle zu bestimmen, die ausserhalb des gasförmigen Körpers selbst liegt.

450. So wollen wir nun unsern Apparat aufstellen und unsere beiden Wärmequellen verlassen. Hier ist unsere Glasröhre, die am einen Ende durch eine Steinsalzplatte, an dem anderen aber durch eine Glasplatte geschlossen ist, denn wir bedürfen des Wärmedurchgangs durch dieses Ende jetzt nicht. Vor dem Salz steht die mit dem Galvanometer verbundene Säule. Obgleich jetzt keine besondere Wärmequelle auf die Säule wirkt, so sehen Sie doch, dass die Nadel nicht ganz bis auf Null kommt; in der That sind die Wände dieses Zimmers, die Menschen, die herumsitzen, ebenso viele Wärmequellen, so dass ich, um diese zu neutralisiren und die Nadel genau auf Null zu bringen, die zu kalte Seite der Säule ein wenig erwärmen muss. Dieses geschieht ohne irgend eine Schwierigkeit durch einen Würfel mit lauwarmem Wasser, der in einiger Entfernung aufgestellt wird; die Nadel steht jetzt auf Null.

451. Nachdem die Versuchsröhre ausgepumpt ist, lasse ich jetzt Luft eintreten, bis sie gefüllt ist; die horizontale Luftsäule in der Röhre ist jetzt erwärmt; jedes Atom der Luft schwingt, und besässen die Atome eine merkliche Kraft, ihre Bewegung dem Lichtäther mitzutheilen, so würden wir von jedem Atom aus einen Wellenzug haben, der auf die Fläche der Säule träfe. Sie bemerken aber kaum eine Bewegung des Galvanometers und können daraus schliessen, dass die Wärmemenge, die von der Luft ausgestrahlt wird, ausserordentlich klein ist. Die Ablenkung beträgt 7°.

452. Aber diese 7° sind nicht einmal der Ausstrahlung der Luft zuzuschreiben. Und wem sonst? Ich öffne das eine Ende der Versuchsröhre und lege ein Stückchen schwarzes

Papier wie ein Futter hinein; das Papier bildet nur einen Ring, der die innere Oberfläche der Röhre auf die Länge von 12 Zoll bedeckt. Ich schliesse die Röhre und wiederhole den letzten Versuch. Die Röhre ist ausgepumpt worden und die Luft tritt jetzt ein; aber sehen Sie die Nadel: sie ist schon durch einen Bogen von 7° geflogen. Sie sehen hier den Einfluss dieses Stückchens papiernen Futters vor sich; es wird von der Luft erwärmt, und strahlt in so reichlichem Maasse gegen die Säule aus. Die innere Oberfläche der Röhre muss dasselbe, obgleich in geringerem Maasse, thun, und der Ausstrahlung dieser Oberfläche, und nicht der der Luft selbst, haben wir, nach meiner Meinung, die eben erhaltene Ablenkung von 7° zuzuschreiben.

453. Ich nehme das Stück Papier aus der Röhre und lasse statt der Luft Stickoxydul in dieselbe strömen; die Nadel schwingt auf 28° und zeigt so, um wieviel grösser die ausstrahlende Kraft dieses Gases ist, als die der Luft. Ich arbeite nun mit der Pumpe; das Gas in der Versuchsröhre kühlt sich ab und in dasselbe strömt jetzt die Wärme von der Säule: ein Ausschlag von 20° in der entgegengesetzten Richtung ist die Folge.

454. Anstatt Stickoxydul liess ich ölbildendes Gas in die entleerte Röhre strömen. Wir haben schon gesehen, dass dieses Gas eine sehr bedeutende Absorption und Ausstrahlung besitzt. Seine Atome sind jetzt erwärmt und jedes von ihnen bezeugt seine Kraft; die Nadel schwingt durch einen Bogen von 67°. Ich lasse es seine Wärme abgeben und die Nadel auf Null zurückgehen. Jetzt pumpe ich aus; die daraus entspringende Abkühlung des Gases in der Röhre bringt eine Ablenkung von 40° auf Seiten der Kälte hervor. Hier haben wir sicher einen Schlüssel zur Er-

klärung der räthselhaften Wirkungen, die wir bei dem Alkohol und dem Aetherdampf beobachtet haben.

455. Der Bequemlichkeit halber können wir die Erwärmung des Gases beim Eintritt in das Vacuum dynamische Erwärmung nennen, seine Ausstrahlung dynamische Ausstrahlung, und seine Absorption, wenn es durch das Auspumpen erkältet wurde, dynamische Absorption. Nehmen wir diese Ausdrücke an, so erklärt sich die folgende Tabelle von selbst. In derselben ist die äusserste Grenze angegeben, bis zu der die Nadel beim Eintritt des Gases in die Versuchsröhre ausschlug.

Dynamische Ausstrahlung der Gase.

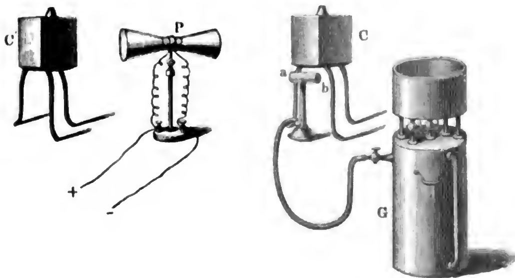
Namen.	Grenze des ersten Ausschlags.
Luft	7°
Sauerstoff	7
Wasserstoff	7
Stickstoff	7
Kohlenoxyd	19
Kohlensäure	21
Stickoxydul	31
Oelbildendes Gas	63

456. Wir bemerken, dass die Ordnung dieser ausstrahlenden Kräfte bei dieser neuen Bestimmung dieselbe ist, wie die, die wir durch eine vollkommen verschiedene Methode früher erhalten hatten. Man darf nicht vergessen, dass die Entdeckung der dynamischen Ausstrahlung ganz neu ist, und dass die Bedingungen für vollkommene Genauigkeit noch nicht ermittelt sind; es ist indess gewiss, dass diese Versuchsmethode bis zum höchsten Grade der Genauigkeit gebracht werden kann.

457. Wir wollen jetzt zu unseren Dämpfen zurückkehren, und ich will mich dabei bemühen, zwei Wirkungen

zu vereinen, die im ersten Augenblick vollkommen entgegengesetzt erscheinen. Wir haben schon gesehen, dass eine polirte Metalloberfläche eine ausserordentlich schwache Ausstrahlung besitzt, dass aber, wenn dieselbe Oberfläche mit Firniss bedeckt wird, die Ausstrahlung sehr reichlich ist. Bei der Mittheilung von Bewegung an den Aether des Weltenraumes *) brauchen die Atome des Metalls einen Zwischenträger und diesen finden sie im Firniss. Sie können eine metallische Oberfläche mit einem Häutchen eines wirksamen Gases überfirnissen. Ich habe hier eine Einrichtung, vermittelst deren ich einen dünnen Strom ölbildenden Gases aus dem Gasbehälter *G* (Fig. 95) durch

Fig. 95.



die gespaltene Röhre *ab*, und über die erwärmte Oberfläche des Würfels *C* führen kann. Die Ausstrahlung von

*) Könnten wir entweder den Namen ändern, der dem Medium im Weltenraum, oder den, der gewissen flüchtigen Flüssigkeiten von den Che-

C wird jetzt durch die von *C'* neutralisirt; ich lasse aber das Gas über den Würfel *C* strömen, und, obgleich die Oberfläche entschieden durch den Vorbeigang des Gases abgekühlt worden ist, denn das Gas musste durch das Metall erwärmt werden, so sehen Sie doch, dass seine Wirkung in einer bedeutenden Vermehrung der Ausstrahlung besteht; so wie das Gas anfängt zu fliessen, beginnt die Nadel sich zu bewegen, bis sie eine Ablenkung von 45⁰ erreicht.

458. Wir haben hier ein Metall mit einem Firniss von Gas bedeckt, aber ein interessanterer und feinerer Versuch ist der, einen gasförmigen Körper mit einem anderen zu firnissen. Ich habe hier eine Flasche, die etwas Essigäther enthält, eine flüchtige und, wie Sie wissen, sehr stark absorbirende Substanz. Ich befestige die Flasche an der Versuchsröhre und lasse den Dampf in sie eintreten, bis die Quecksilbersäule um einen halben Zoll niedergedrückt worden ist. Es ist jetzt Dampf unter einem halben Zoll Druck in der Röhre. Ich will diesen Dampf als Firniss benutzen und will das Element Sauerstoff statt der Elemente Gold, Silber oder Kupfer als die Substanz gebrauchen, für die mein Dampf als Firniss angewendet werden soll. In diesem Augenblick ist die Nadel auf Null, und ich lasse nun trocknen Sauerstoff in die Röhre eintreten: das Gas wird dynamisch erwärmt, indess wir wissen, dass es seine Wärme kaum auszustrahlen vermag; aber nun kommt es in Berührung mit dem Dampf des Essigäthers, und indem es seine Wärmebewegung dem Dampf durch directen Anstoss mittheilt, kann der

mikern gegeben worden ist, so würde dies sehr zweckmässig sein. Es ist schwer, Verwechslungen im Gebrauch desselben Ausdrucks für so gänzlich verschiedene Gegenstände zu vermeiden.

letztere die Bewegung weiter zur Säule senden. Beobachten Sie die Nadel: sie wird durch die Ausstrahlung der Dampfmoleküle bis zu einem Ausschlage von 70° getrieben. Ich brauche nicht die Thatsache festzustellen, dass der Dampf bei diesem Versuch genau dieselbe Beziehung zum Sauerstoff hat, wie der Firniss zum Metalle bei unseren früheren Versuchen.

459. Wir wollen etwas warten und den Dampf erst die Wärme ausgeben lassen: er ist der Entlader der durch den Sauerstoff erzeugten Wärmebewegung; die Nadel steht wieder auf Null. Ich arbeite mit der Pumpe, der Dampf in der Röhre erkältet sich, und nun schwingt die Nadel fast auf 45° nach der anderen Seite von Null. Auf diese Weise sind die dynamischen Ausstrahlungen und Absorptionen der in der folgenden Tabelle angeführten Dämpfe bestimmt worden; indess war Luft, statt Sauerstoff, die zur Erwärmung des Dampfes angewendete Substanz. Der erste Ausschlag der Nadel ist, wie vorher, angegeben worden.

Dynamische Ausstrahlung und Absorption der Dämpfe.

		Ablenkungen.	
		Ausstrahlung.	Absorption.
1.	Schwefelkohlenstoff	14°	6°
2.	Jodmethyl	20	8
3.	Benzol	30	14
4.	Jodäthyl	34	16
5.	Methylalkohol	36	18
6.	Amylchlorid	41	23
7.	Amylen	48	26
8.	Alkohol	50	28
9.	Schwefeläther	64	34
10.	Ameisenäther	69	38
11.	Essigäther	70	43

460. Wir haben hier elf verschiedene Arten von Dampf als Firniss für unsere Luft benutzt, und wir finden, dass die dynamische Ausstrahlung und Absorption genau in derselben Ordnung zunimmt, wie bei den Versuchen mit äusseren Wärmequellen.

Wir sehen auch, wie vortrefflich dynamische Ausstrahlung und Absorption einander entsprechen, und wie die eine mit der anderen zu- und abnimmt.

461. Die geringe Menge von Materie, die bei einigen von diesen Wirkungen auf strahlende Wärme in Betracht kommt, ist schon angeführt worden, und ich will nun einen Versuch beschreiben, der Ihnen dafür ein schlagenderes Beispiel geben wird, als die bisherigen. Die Absorption des Dampfes des Borsäureäthers übertrifft, wie ich §. 433 angegeben habe, die irgend einer der bis jetzt erwähnten Substanzen, und es kann angenommen werden, dass seine dynamische Ausstrahlung dem entspricht. Ich will die Versuchsröhre so vollkommen als möglich auspumpen und dann in dieselbe eine Menge von Borsäureäther einlassen, die genügt, um die Quecksilbersäule um $^1/_{10}$ Zoll niederzudrücken. Das Barometer steht heute auf 30 Zoll, daher ist der Druck des Aetherdampfes in unserer Röhre jetzt $^1/_{300}$ einer Atmosphäre.

Ich lasse trockne Luft in die Röhre strömen; der Dampf wird erwärmt, und die dynamische Ausstrahlung bringt eine Ablenkung von 56° hervor.

Ich arbeite mit der Pumpe, bis ich den Rückstand von Luft in ihr auf den Druck von 0,2 Zoll oder $^1/_{150}$ einer Atmosphäre zurückgebracht habe. Ein Rückstand von Borsäureäther bleibt natürlich in der Röhre; der Druck dieses Rückstandes ist $^1/_{150}$ von dem des Dampfes, der zuerst in die Röhre eintrat. Ich lasse trockne Luft eintreten und finde, dass die dynamische Ausstrahlung

dieses zurückgebliebenen Dampfes durch die Ablenkung von 42° ausgedrückt wird.

Ich arbeite wieder mit der Pumpe, bis der Luftdruck 0,2 Zoll ist; die Menge des jetzt in der Röhre befindlichen Aetherdampfes ist $^1/_{150}$ von der beim letzten Versuch. Die dynamische Ausstrahlung dieses Rückstandes giebt eine Ablenkung von 20°.

Zwei weitere Versuche, die in derselben Weise gemacht wurden, gaben Ablenkungen von 14° und 10°. Die Frage ist jetzt, welches war die Dichtigkeit des Borsäureätherdampfes als diese letzte Ablenkung erhalten wurde? Die folgende Tabelle enthält die Antwort auf diese Frage.

Dynamische Ausstrahlung von Borsäureäther.

Druck in Theilen einer Atmosphäre.	Ablenkung.
$\frac{1}{300}$	56°
$\frac{1}{150} \times \frac{1}{300} = \frac{1}{45000}$	42
$\frac{1}{150} \times \frac{1}{150} \times \frac{1}{300} = \frac{1}{6750000}$	20
$\frac{1}{150} \times \frac{1}{150} \times \frac{1}{150} \times \frac{1}{300} = \frac{1}{1012500000}$	24
$\frac{1}{150} \times \frac{1}{150} \times \frac{1}{150} \times \frac{1}{150} \times \frac{1}{300} = \frac{1}{151875000000}$	10

462. Die Luft selbst, die das Innere der Röhre erwärmt, bringt, wie wir gesehen haben, eine Ablenkung von 7° hervor; daher können wir die Ablenkung von 10° nicht ganz allein der Ausstrahlung des Dampfes zuschreiben. Ziehen wir 7° ab, bleiben uns noch 3°. Dürfen wir aber das letzte Experiment gänzlich fortlassen, so können wir nicht zweifeln, dass wenigstens die Hälfte der Ablenkung von 14° dem Rückstand des borsauren Aetherdampfes zuzuschreiben sei; wir finden durch genaue Mes-

sungen, dass dieser Werth mit 1000 Millionen hätte multiplicirt werden müssen, damit er dem Drucke der gewöhnlichen atmosphärischen Luft entspricht.

463. Wir kommen hierbei auf eine andere beachtenswerthe Frage. Wir haben die dynamische Ausstrahlung von ölbildendem Gase gemessen, indem wir das Gas in unsere Röhre eintreten liessen, bis die letztere ganz gefüllt war. Wir wollen den Zustand der warmen ausstrahlenden Säule von ölbildendem Gase bei diesem Versuche betrachten. Es ist klar, dass die Theile derselben, die am meisten von der thermo-elektrischen Säule entfernt sind, durch das Gas vor ihnen strahlen müssen, und in diesem vorderen Theile der Gassäule eine grosse Menge der Strahlen, die von dem hinteren Theile ausgehen, absorbirt werden. Es unterliegt keinem Zweifel, dass, wenn wir unsere Säule genügend lang machten, die vorderen Theile als ein vollkommen undurchdringlicher Schirm für die Ausstrahlung der hinteren wirken würden. Wenn wir also den Theil der gasförmigen Säule, der von der thermo-elektrischen Säule am entferntesten ist, abschnitten, würden wir nur in sehr geringem Grade die Menge der Strahlen vermindern, die die Säule erreichen.

464. Wir wollen jetzt die dynamische Ausstrahlung eines Dampfes mit der des ölbildenden Gases vergleichen. Bei dem Dampfe benutzen wir nur 0,5 Zoll Druck, daher sind die ausstrahlenden Moleküle des Dampfes weit mehr von einander entfernt, als die des ölbildenden Gases, die 60mal mehr Druck ausüben, und folglich wird die Ausstrahlung der hinteren Theile der Dampfsäule einen verhältnissmässig freien Weg finden, auf dem sie die Säule erreichen kann. Diese Betrachtungen zeigen, dass bei dem Dampf eine grössere Länge der Röhre für

die Ausstrahlung mitwirkt, als beim ölbildenden Gase. Dies führt ferner zu dem Schlusse, dass, wenn wir die Röhre kürzen, die Ausstrahlung bei dem Dampfe stärker vermindert wird, als beim Gase. Wir wollen jetzt unsere Schlussfolgerungen durch den Versuch prüfen.

465. Wir haben beobachtet, dass die dynamische Ausstrahlung der vier folgenden Substanzen, wenn die ausstrahlende Säule 2 Fuss 9 Zoll lang war, durch die beigefügten Ablenkungen dargestellt wurde:

Oelbildendes Gas	63°
Schwefelätherdampf	64
Ameisenäther	69
Essigäther	70

Hier gab ölbildendes Gas die geringste dynamische Ausstrahlung.

466. Experimente, die in ganz gleicher Weise mit einer Röhre von 3 Zoll Länge, $^1/_{11}$ der früheren, angestellt wurden, gaben folgende Ablenkungen:

Oelbildendes Gas	39°
Schwefelätherdampf	11
Ameisenäther	12
Essigäther	15

Die Begründung unserer Schlussfolgerung ist somit vollständig. Es ist bewiesen, dass die dynamische Ausstrahlung des Dampfes die des Gases in der langen Röhre übertrifft, während in der kurzen die dynamische Ausstrahlung des Gases die des Dampfes übertrifft. Der Erfolg beweist, wenn ein Beweis noch nöthig wäre, dass die Dampfmoleküle, obgleich sie in der Luft zerstreut sind, wirklich die Mittelpunkte der Ausstrahlung sind.

467. Bis jetzt habe ich absichtlich jede Beziehung auf den für uns wichtigsten Dampf vermieden; ich meine

natürlich den Wasserdampf. Dieser Dampf ist immer, wie Sie wissen, in der Atmosphäre verbreitet. Der klarste Tag ist nicht frei von ihm; ja in den Alpen ist oft der klarste Himmel der verrätherischste, da das Blau mit der Menge des Wasserdampfes in der Luft dunkler wird. Es ist also nicht nöthig, Sie daran zu erinnern, dass, wenn ich von Wasserdampf spreche, ich nichts Sichtbares meine; es ist kein dicker Nebel, es ist keine Wolke, es ist keinerlei Art Dunst. Diese sind aus Dampf gebildet, der zu Wasser verdichtet worden ist; aber der rechte Dampf, mit dem wir zu thun haben, ist ein unsichtbares durchsichtiges Gas. Es ist allüberall durch die Atmosphäre, wenn auch in verschiedenen Verhältnissen, vertheilt.

468. Um das Vorhandensein von Wasserdampf in der uns umgebenden Luft nachzuweisen, habe ich vorn auf den Tisch ein kupfernes Gefäss gestellt, das vor einer Stunde mit einer Mischung von gestossenem Eis und Salz angefüllt worden war. Die Oberfläche des Gefässes war damals schwarz, jetzt ist sie weiss, sie ist ganz mit Reif bedeckt, der durch die Verdichtung und das nachherige Gefrieren des Wasserdampfes auf der Oberfläche entstanden ist. Ich kann diese weisse Masse abschaben, und wie ich den gefrorenen Dampf entferne, erscheint die schwarze Oberfläche des Gefässes wieder; jetzt habe ich eine genügende Menge, um einen ordentlichen Schneeball zu machen. Wir wollen einen Schritt weiter gehen. Ich lege diesen Schnee in eine Mulde und drücke ihn vor Ihnen zu einem Eisklumpen zusammen, und so haben wir, ohne das Zimmer zu verlassen, durch einen Versuch die Bildung der Gletscher von Anfang bis zu Ende erklärt. Auf der Glasplatte, die ich zum Bedecken des Gefässes benutzt habe, ist der Dampf nicht gefroren, sondern nur stark verdichtet, so

dass, wenn ich die Platte seitwärts halte, das Wasser in einem Strome abfliesst.

469. Die Menge dieses Dampfes ist gering. Aus Sauerstoff und Stickstoff bestehen ungefähr 99½ Procent unserer Atmosphäre; von den übrigbleibenden 0,5 sind ungefähr 0,45 Wasserdampf, der Rest ist Kohlensäure. Wären wir nicht schon mit der Wirkung der fast unendlich geringen Mengen von Materie auf strahlende Wärme bekannt, so könnten wir fast daran verzweifeln, ob wir eine messbare Wirkung des Wasserdampfes unserer Atmosphäre beobachten könnten. Ich habe in der That eine Zeitlang die Wirkung dieser Substanz vernachlässigt und konnte kaum meinem ersten Resultate trauen, als ich die Wirkung des Wasserdampfes unseres Laboratoriums 15mal grösser fand, als die der Luft, in der er vertheilt war. Dies spricht indess noch in keiner Weise das wirkliche Verhältniss zwischen Wasserdampf und trockner Luft aus.

470. Um diesen Punkt aufzuklären, habe ich unsere erste Einrichtung (Tafel I.) wieder aufgenommen und benutze eine Messingröhre und zwei Wärmequellen, die auf die entgegengesetzten Seiten der Säule wirken. Ich wiederhole zuerst den Versuch mit trockner Luft, indem ich sie in den Versuchscylinder einlasse. Die Nadel bewegt sich nicht merklich. Wären Sie ganz nahe, so würden Sie eine Bewegung von ungefähr einem Grade beobachten. Könnten wir unsere Luft ganz rein erhalten, so würde die Wirkung noch geringer sein. Wir wollen noch einmal auspumpen und die Luft dieses Zimmers in den Versuchscylinder direct eintreten lassen, ohne sie durch den Trockenapparat zu führen. Sie sehen, die Nadel bewegt sich, sowie die Luft eintritt, und die letzte Ablenkung ist 48°. Die Nadel wird fest auf diese Zahl zeigen, so lange

wie die Wärmequellen constant bleiben und so lange die Luft in der Röhre bleibt. Diese 48° entsprechen einer Absorption von 72; d. h. der Wasserdampf, der heute in der Atmosphäre dieses Zimmers enthalten ist, übt eine 72mal stärkere Wirkung auf die strahlende Wärme aus, als die Luft für sich.

471. Dieses Resultat ist sehr leicht, aber doch nur bei grosser Sorgfalt zu erhalten. Wenn wir trockne mit feuchter Luft vergleichen, so müssen die Substanzen unbedingt rein sein. Sie können Monate lang mit unvollkommenen Trockenapparaten arbeiten und erhalten niemals Luft, die diesen fast gänzlichen Mangel von Wirkung auf strahlende Wärme zeigt. Eine Menge organischer Unreinheit, die zu gering ist, um vom Auge gesehen zu werden, genügt, um die Wirkung der Luft auf das 50fache zu vermehren. Da Sie die Wirkung kennen, die eine fast unendlich kleine Menge von Materie in gewissen Fällen hervorbringen kann, so sind Sie besser auf diese Thatsachen vorbereitet als ich, wie sie zum ersten Mal meine Aufmerksamkeit erregten. Das soeben erhaltene experimentelle Resultat wird, wenn es richtig ist, einen so bedeutenden Einfluss auf die Wissenschaft der Meteorologie haben, dass wir es erst nach der sorgfältigsten Prüfung annehmen dürfen. Vor allen Dingen sehen Sie sich dieses Stück Steinsalz an, das aus dem anderen Zimmer gebracht worden ist, wo es einige Zeit neben einem Wassergefäss gelegen hat, aber nicht in Berührung mit der sichtbaren Feuchtigkeit kam. Das Salz ist nass; es ist eine hygroskopische Substanz und verdichtet leicht Feuchtigkeit auf seiner Oberfläche. Hier ist eine polirte Platte von derselben Substanz, die jetzt ganz trocken ist; ich hauche sie an, und sogleich bewirkt ihre Verwandtschaft zur Feuchtigkeit, dass der

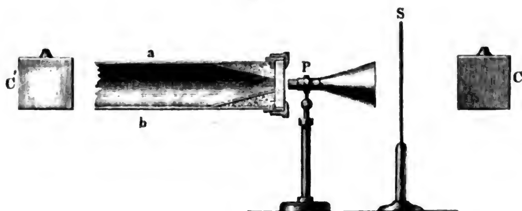
Dampf meines Athems ihre Oberfläche in einem Häutchen bedeckt, welches die Farben der dünnen Blättchen sehr schön zeigt*). Wir wissen aus der Tabelle §. 353, wie undurchlässig eine Lösung von Steinsalz für die Wärmestrahlen ist, und daher regt sich die Frage, ob wir bei dem obigen Versuche mit ungetrockneter Luft nicht die Wirkung einer dünnen Schicht solcher Lösung gemessen haben, die auf unseren Salzplatten niedergeschlagen war, statt der reinen Wirkung des Wasserdampfes auf die Luft.

472. Arbeiten wir unvorsichtig, oder ist es unsere besondere Absicht, die Salzplatten zu netzen, so können wir leicht einen Niederschlag von Feuchtigkeit erhalten. Ueber diesen Punkt wird sich jeder erfahrene Experimentator bald klar sein; aber die Hauptsache beim guten Experimentiren besteht darin, dass man die Umstände ausschliesst, die die klaren und einfachen Fragen, die wir an die Natur richten wollen, unklar und complicirt machen. Um den hier erregten Zweifel zu lösen, müssen wir zuerst unsere Salzplatten untersuchen; ist das Experiment ordentlich gemacht, so darf sich keine Spur von Feuchtigkeit auf der Oberfläche finden. Um den Erfolg dieses Versuchs noch sicherer zu machen, will ich etwas an der Einrichtung unseres Apparats verändern. Bisher hatten wir die thermo-elektrische Säule und ihre beiden Reflectoren gänzlich ausserhalb

*) Wenn der Strahl der elektrischen Lampe von der polirten Salzplatte so aufgefangen wird, dass er das Licht auf einen Schirm zurückwirft, und eine Linse so vor das Salz gestellt wird, dass man ein Bild seiner polirten Oberfläche auf dem Schirm erhält, und haucht man dann durch eine Glasröhre gegen das Salz, so treten augenblicklich schöne Regenbogenfarben auf, die von Hunderten auf einmal gesehen werden können.

des Versuchscylinders. Ich nehme jetzt diesen linksstehenden Reflector von der Säule ab, entferne diese Steinsalzplatte und führe den Reflector in den Versuchscylinder ein. Der hohle zurückstrahlende Kegel ist an seiner Basis *ab* (Fig. 96) aufgeschnitten (dies ist unsere frühere Aufstellung, Tafel I, mit dem einzigen Unterschiede, dass der eine der Reflectoren der Säule *P* jetzt in der Röhre ist), so dass er durch seinen eigenen Druck fest

Fig. 96.



gegen die innere Oberfläche gehalten wird. Ich will den Raum zwischen der äusseren Oberfläche des Reflectors und der inneren der Röhre mit Stückchen von geschmolzenem Chlorcalcium anfüllen, die ein kleiner Schirm von Drahtgaze am Herausfallen hindert. Nachdem ich meine Salzplatte wieder an der inneren Oberfläche befestigt habe, an die jetzt das enge Ende des Reflectors anstösst, bringe ich die Oberfläche der Säule dicht an die Platte, wenn auch nicht in directe Berührung mit ihr; und nun ist unsere Aufstellung vollständig.

473. Es muss zuerst noch bemerkt werden, dass die zunächst der Wärmequelle gestellte Salzplatte niemals feucht ist, wenn nicht die Versuche sehr unvollkommen sind. In Folge ihrer Nähe an der Quelle vermag die Wärme jede Spur von Feuchtigkeit von ihrer Oberfläche

zu verjagen. Die entfernte Platte ist der Gefahr ausgesetzt, und darum haben wir den äusseren Rand durch das Chlorcalcium vollkommen trocken erhalten. Jetzt kann keine feuchte Luft den Rand der Platte erreichen, während wir auf ihren inneren Theil, der ungefähr einen Quadratzoll Flächeninhalt hat, unsere ganze Ausstrahlung concentrirt haben. A priori müssten wir schliessen, dass ein Feuchtigkeitshäutchen sich hier ganz unmöglich ansammeln könnte; und dieser Schluss wird durch die Thatsache bestätigt. Ich prüfe, wie vorher, die trockne und die nichtgetrocknete Luft dieses Zimmers und finde, dass, wie beim früheren Versuche, die letztere 70mal mehr Wirkung hervorbringt als die erstere. Die Nadel ist jetzt durch die Absorption der ungetrockneten Luft abgelenkt; ich lasse diese Luft in der Röhre, schraube meine Salzplatte ab und untersuche ihre Oberfläche. Ich benutze sogar eine Taschenlupe für diesen Zweck, indem ich mich aber sehr in Acht nehme, dass mein Athem nicht die Platte trifft. Sie war sorgfältig polirt, als sie an der Röhre befestigt worden war; sie ist noch vollkommen polirt. Die Oberflächen von Glas oder Bergkrystall könnten nicht freier von irgend einer Spur Feuchtigkeit sein. Ich lege ein trocknes Taschentuch über meinen Finger und fahre über die Oberfläche; er hinterlässt keine Spur. Es ist nicht der geringste Niederschlag von Feuchtigkeit vorhanden, und doch sehen wir, dass Absorption stattgefunden hat. Dieser Versuch ist entscheidend gegen die Hypothese, dass die beobachteten Wirkungen einem Häutchen Salzwasser und nicht dem Wasserdampf zuzuschreiben seien.

474. Man könnte aber immer noch glauben, dass, obgleich es uns unmöglich ist, eine Spur von Feuchtigkeit zu zu entdecken, dieselbe dennoch vorhanden wäre. Dieser

Zweifel wird in der folgenden Weise gelöst: Ich nehme die Versuchsröhre von der Vorkammer fort und entferne die beiden Steinsalzplatten; die Röhre ist jetzt an beiden Enden offen, und ich will nun trockne und feuchte Luft in diese offene Röhre einlassen und ihre Wirkungen auf die Ausstrahlung vergleichen. Und hier muss, wie in allen anderen Fällen, die Geschicklichkeit des Experimentators sich geltend machen. Die Quelle auf der einen Seite und die Säule auf der anderen sind nun der Luft frei ausgesetzt; eine ganz geringe Erschütterung, die auf die eine oder die andere wirkte, würde die Wirkung, die wir suchen, entweder verhindern oder gänzlich verbergen. Die Luft muss also in die offene Röhre ohne die geringste Erschütterung, weder in der Nähe der Wärmequelle, noch in der der Säule, eingeführt werden. Die Versuchsröhre ist jetzt 4 Fuss 3 Zoll lang; der Hahn *C* (Fig. 97) ist mit einem Kautschukbeutel verbunden, der gewöhnliche Luft enthält und durch ein Gewicht einem

Fig. 97.



leichten Druck unterworfen ist; bei *D* ist ein zweiter Hahn, der durch eine biegsame Röhre *t* mit der Luftpumpe verbunden ist. Zwischen dem Hahn *C* und dem Kautschukbeutel werden unsere Trockenröhren eingeführt, und wenn der Hahn geöffnet ist, wird die Luft langsam durch die Trockenröhren in den Versuchscylinder eingelassen. An der Luftpumpe wird zu gleicher Zeit langsam gearbeitet, wodurch die trockne Luft gegen *D*

hingezogen wird. Die Entfernung von *C* bis zur Quelle *S* beträgt 18 Zoll, und die Entfernung von *D* von der Säule *P* 12 Zoll; der Compensationswürfel *C* und der Schirm *H* dienen zu demselben Zweck wie vorher. Indem wir so den mittleren Theil der Röhre isoliren, können wir trockne Luft durch feuchte ersetzen, oder feuchte Luft durch trockne, ohne dass irgend eine Bewegung weder die Quelle noch die Säule erreicht.

475. Jetzt ist die Röhre mit gewöhnlicher Luft aus dem Laboratorium angefüllt und die Nadel des Galvanometers zeigt beständig auf Null. Ich lasse nun Luft durch den Trockenapparat gehen und in die offene Röhre bei *C* eintreten, während, wie schon beschrieben, an der Pumpe gearbeitet wird. Beobachten Sie die Wirkung. Wenn die trockne Luft eintritt, fängt die Nadel an sich zu bewegen und die Richtung ihrer Bewegung zeigt, dass mehr Wärme als vorher durchgeht. Der Eintritt von trockner Luft an Stelle der Luft des Laboratoriums hat die Röhre für die Wärmestrahlen durchlässiger gemacht. Die letzte so erhaltene Ablenkung ist 45°. Hier bleibt die Nadel stationär, und über diesen Punkt hinaus kann sie durch kein weiteres Einziehen von trockner Luft bewegt werden.

476. Ich schliesse jetzt den Zutritt der trocknen Luft ab und höre auf, mit der Pumpe zu arbeiten; die Nadel fällt aber sehr langsam, indem sie eine entsprechend langsame Verbreitung des Wasserdampfes der äusseren Luft in der trocknen Luft der Röhre angiebt. Wenn ich mit der Pumpe arbeite, so beschleunige ich die Entfernung der trocknen Luft und die Nadel sinkt schneller; sie zeigt jetzt auf Null. Der Versuch kann 100mal hinter einander gemacht werden, ohne die geringste Abweichung des Resultats; bei dem Eintritt der trocknen Luft geht die

Nadel unabänderlich auf 45° und zeigt vermehrte Durchlässigkeit an; bei dem Eintritt der nichtgetrockneten Luft sinkt die Nadel auf Null Grad und zeigt vermehrte Absorption an.

477. Aber die Atmosphäre ist heute nicht mit Feuchtigkeit gesättigt; denn wäre sie gesättigt, könnten wir eine stärkere Wirkung erwarten. Ich entferne den Trockenapparat und setze an seine Stelle eine U-Röhre voll Glasstückchen, die mit destillirtem Wasser befeuchtet sind. Durch diese Röhre presse ich die Luft aus dem Kautschukbeutel und arbeite mit der Pumpe wie vorher. Wir ersetzen jetzt die feuchte Luft des Laboratoriums durch noch feuchtere; sehen Sie jetzt die Wirkung. Die Nadel bewegt sich in einer Richtung, die ihre vermehrte Undurchlässigkeit anzeigt, die letzte Ablenkung ist 15°.

478. Hier haben Sie wesentlich dasselbe Resultat, wie damals, als wir unsere Röhre mit Steinsalzplatten geschlossen hatten; deshalb kann die Wirkung nicht einem Häutchen von Feuchtigkeit, das auf der Oberfläche der Platten niedergeschlagen ist, zugeschrieben werden. Und es sei hier bemerkt, dass nicht die leiseste Laune oder Unbestimmtheit in diesen Versuchen herrscht, wenn sie richtig gemacht werden. Sie wurden zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten angestellt; die Röhre ist abgenommen und wieder zusammengesetzt worden; den Andeutungen berühmter Männer, die die Versuche in der Absicht gesehen haben, um ihre Resultate zu prüfen, ist Rechnung getragen worden; es konnte aber keine Abweichung von den mitgetheilten Wirkungen beobachtet werden. Der Eintritt jeder Art von Luft ist jedes Mal von der ihr eigenthümlichen Wirkung begleitet; die Nadel ist unter der vollständigsten Controle; kurz, kein bis jetzt mit festen oder

flüssigen Körpern gemachtes Experiment ist so sicher in seiner Ausführung, wie die vorhergehenden Versuche mit trockner und feuchter Luft.

479. Wir können leicht die Procente der gänzlichen Ausstrahlung berechnen, die von der gewöhnlichen Luft zwischen den Punkten *C* und *D* absorbirt werden. Wenn ich diesen zinnernen Schirm zwischen den Versuchscylinder und die Säule einführe, so schliesse ich die eine der Wärmequellen vollständig aus. Die Ablenkung, die von der anderen Quelle bewirkt wird, zeigt die totale Strahlung an. Diese Ablenkung entspricht ungefähr 780 von den bisher angenommenen Einheiten; eine Einheit ist die Wärmemenge, durch welche die Nadel von 0° auf 1° bewegt wird. Die Ablenkung von 45° entspricht 62 Einheiten, von 780 sind daher 62 in diesem Falle von der feuchten Luft absorbirt worden. Die folgende Proportion giebt uns die Absorption in Procenten:

$$780 : 100 = 62 : 7,9.$$

Eine Absorption von fast 8 Procent wurde daher von dem atmosphärischen Dampfe bewirkt, der die Röhre zwischen *C* und *D* ausfüllte. Vollkommen gesättigte Luft giebt eine bei weitem grössere Absorption.

480. Diese Absorption fand statt, obgleich die Wärme schon theilweise auf ihrem Wege von der Quelle nach *C* und von *D* zur Säule gesiebt war. Die feuchte Luft wurde wahrscheinlich überdies nur zum Theil durch trockne ersetzt. Bei anderen Versuchen fand ich mit einer innen polirten Röhre von 4 Fuss Länge, dass der atmosphärische Dampf an einem Tage von besonderer Trockenheit über 10 Procent der Ausstrahlung von unserer Quelle absorbirte. Betrachten wir die Erde als eine Wärmequelle, so werden zum wenigsten 10 Procent ihrer Wärme innerhalb 10 Fuss von der Ober-

fläche aufgefangen*). Diese einzige Thatsache macht uns auf den ungeheuren Einfluss aufmerksam, den die neuentdeckte Eigenschaft des Wasserdampfes für die Erscheinungen der Meteorologie haben muss.

480a. Wir haben aber noch nicht alle Einwendungen beseitigt. Man hat mich darauf aufmerksam gemacht, dass die Luft unseres Laboratoriums unrein sein könne; man hat auch auf die in der Londoner Luft vertheilten Kohlentheilchen als eine mögliche Ursache der Absorption des Wasserdampfes hingedeutet. Indess wurden die Resultate auch erhalten, wenn der Apparat aus dem Laboratorium entfernt worden war; man erhielt sie auch in diesem Zimmer. Ueberdies wurde Luft in undurchdringlichen Beuteln von folgenden Orten geholt: Hyde Park, Primrose Hill, Hampstead Heath, Epsom Downs; von einem Felde bei Newport auf der Insel Wight; St. Catharine's Down auf der Insel Wight; von der Seeküste bei Black Gang Chine. Der Wasserdampf der Luft von allen diesen Localitäten übte, auf die gewöhnliche Weise untersucht, eine 70mal grössere Absorption aus, als die Luft, in der der Dampf vertheilt war.

481. Ich experimentirte nun in folgender Weise. Die Luft des Laboratoriums wurde getrocknet und gereinigt, bis ihre Absorption unter Eins sank; die gereinigte Luft wurde dann durch eine U-Röhre geführt, die mit Stücken von vollkommen reinem, mit destillirtem Wasser angefeuchteten Glase gefüllt war. Die getrocknete Luft zeigte keine Wirkung, zum Beweise, dass alle störenden Substanzen aus ihr entfernt worden waren; beim Durchgang durch die U-Röhre konnte sie nichts als reinen

*) Ich habe alle Ursache zu glauben, dass die Absorption unter gewissen Bedingungen diese Grösse bedeutend übersteigt.

Wasserdampf aufnehmen. Der so in die Versuchsröhre eingeführte Dampf hatte eine 90mal grössere Wirkung als die Luft, die ihn mit sich führte.

482. Aber für eine richtige und logische Kritik wird auch dies noch nicht ausreichend sein. Die Röhre, mit der diese Versuche angestellt worden sind, ist innen polirt, und man könnte vermuthen, dass der Dampf der feuchten Luft bei seinem Eintritt sich auf der inneren Oberfläche der Röhre niederschlüge, so ihre reflectirende Kraft verminderte und eine scheinbar gleiche Wirkung wie die Absorption hervorriefe. Warum aber, möchte ich fragen, sollte ein solcher Niederschlag von Feuchtigkeit stattfinden? An vielen Tagen, als diese Experimente gemacht wurden, war die Luft wenigstens 25 Procent unter ihrem Sättigungspunkte. Es ist kaum anzunehmen, dass eine solche Luft ihre Feuchtigkeit auf einer metallischen Oberfläche niederschlüge, gegen die überdies die Strahlen unserer Wärmequelle zur selben Zeit fielen. Die einfache Betrachtung des Einwurfs zeigt seine Unzulänglichkeit. Auch wird die Absorption ausgeübt, wenn die in die Röhre eingeführte Luft nur einen geringen Druck besitzt, und sie ist der Menge der vorhandenen Luft proportional. Dies wird durch die folgende Tabelle gezeigt, die die Absorption der feuchten Luft bei einem Druck von 5 bis 30 Zoll Quecksilber giebt:

Feuchte Luft.

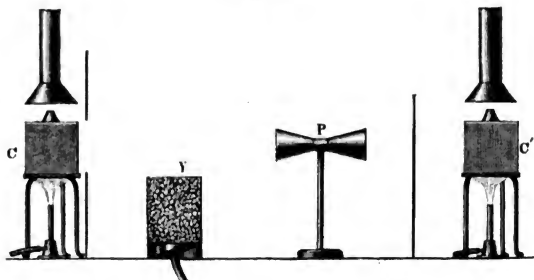
Druck in Zollen.	Absorption beobachtet	Absorption berechnet
5	16	16
10	32	32
15	49	48
20	64	64
25	82	80
30	98	96

483. Die dritte Columne dieser Tabelle ist nach der Annahme berechnet, dass die Absorption der Dampfmenge in der Röhre proportional sei, und die Uebereinstimmung der berechneten und beobachteten Resultate zeigt, dass dies innerhalb der Grenzen der Beobachtung der Fall ist. Es kann nicht vorausgesetzt werden, dass so regelmässige Wirkungen, wie diese, welche so vollkommen mit denen übereinstimmen, die mit kleinen Mengen anderer Dämpfe und selbst mit kleinen Mengen permanenter Gase erhalten worden sind, der Verdichtung des Dampfes an der inneren Oberfläche zuzuschreiben sind. Wenn überdies der Druck der Luft in der Röhre 5 Zoll betrug, so war weniger als $^1/_6$ des Dampfes da, der nöthig ist, um den Raum zu sättigen. Selbst am trockensten Tage ist mehr Feuchtigkeit in der Luft. Verdichtung ist unter diesen Umständen unmöglich, besonders eine Verdichtung, die durch ihre Wirkung auf den inneren Reflector Wärmemengen zerstören würde, die den Mengen der eingeführten Materie ganz genau proportional wären.

484. Es war indess mein Wunsch, diese wichtige Frage ganz dem Bereich der reinen Reflexion zu entziehen, so folgerichtig sie auch sein mochte. Ich beschloss daher, nicht nur die Salzplatten zu verlassen, sondern auch die Versuchsröhre, und einen Theil der freien Atmosphäre durch einen anderen zu ersetzen. Zu diesem Zwecke wurde die folgende Einrichtung getroffen: *C* (Fig. 98), ein Würfel voll kochendem Wasser, ist unsere Wärmequelle. *Y* ist ein hohler aufrecht stehender Messingcylinder, von 3,5 Zoll Weite und 7,5 Zoll Höhe. *P* ist die thermoelektrische Säule und *C'* ein Compensationswürfel, zwischen dem und *P* ein Regulirungsschirm steht, um die Wärmemenge zu regeln, die auf die hintere Oberfläche der Säule fällt. Die ganze Einrichtung war von

einer Hülle umgeben, deren innerer Raum durch Zinnblätter in Abtheilungen getheilt worden war, die lose mit Papier oder Rosshaar vollgestopft waren. Diese Vorsichtsmaassregeln, die erst allmählich gefunden wurden,

Fig. 98.



waren nöthig, um die Bildung von localen Luftströmen zu verhüten, und um die unregelmässige Wirkung der äusseren Luft zu verhindern. Die hier zu messende Wirkung ist sehr klein und daher muss man alle Ursachen von Störung entfernen, die möglicher Weise ihre Klarheit und Reinheit beeinträchtigen könnten.

485. Ein ringförmiger Brenner *r* wurde unter das untere Ende des Cylinders *Y* gestellt, und von ihm ging eine Röhre zu einem Kautschukbeutel, der Luft enthielt. Der Cylinder *Y* war zuerst mit Stückchen Bergkrystall angefüllt, die mit destillirtem Wasser befeuchtet worden waren. Unterwarf man den Kautschukbeutel einem Drucke, so wurde die Luft langsam zwischen die Quarzstückchen gepresst, und nachdem sie sich dort mit Dampf gesättigt hatte, in den Raum zwischen dem Würfel *C* und der Säule getrieben. Vorher stand die Nadel auf

Null; bei dem Austritt der gesättigten Luft aus dem Cylinder bewegte sich aber die Nadel und nahm eine schliessliche Ablenkung von 5 Grad an. Die Richtung der Ablenkung zeigte, dass die Undurchlässigkeit des Raumes zwischen der Quelle *C* und der Säule durch die gesättigte Luft vermehrt wurde.

486. Die Quarzstückchen wurden jetzt entfernt, und der Cylinder mit Stückchen von frischem Chlorcalcium angefüllt, durch die die Luft, gerade wie beim vorigen Versuche, langsam geführt wurde. Beim Durchgang durch das Chlorcalcium wurde ihr indess jetzt zum grossen Theil ihr Wasserdampf entzogen und die so getrocknete Luft ersetzte die gewöhnliche Luft zwischen der Quelle und der Säule. Die Nadel bewegte sich bis zu einer beständigen Ablenkung von 10 Grad; die Richtung der Ablenkung zeigte, dass die Durchlässigkeit des Raumes durch das Zwischentreten der trocknen Luft vermehrt wurde. Wenn man den Eintritt der Luft richtig abmaass, so konnte der Ausschlag der Nadel auf 15 bis 20 Grad gesteigert werden. Die Wiederholung zeigte keine Abweichung von diesem Resultate; die gesättigte Luft vermehrte jedes Mal die Undurchlässigkeit, die trockne Luft die Durchlässigkeit des Raumes zwischen der Quelle und der Säule. Es sind also nicht nur die Steinsalzplatten verlassen worden, sondern auch die Versuchsröhre selbst, und die Resultate stimmen alle vollkommen überein, so weit sie die Wirkung von Wasserdampf auf strahlende Wärme betreffen.

487. Ich würde bei diesem Gegenstande nicht so lange verweilen, wenn er nicht so sehr wichtig wäre. Ich hielt es für recht, jedem Einwurf entgegen zu treten, damit die Meteorologen ohne die geringste Sorge die Resultate der Versuche verwerthen könnten. Die Anwen-

dungen dieser Resultate auf ihre Wissenschaft müssen unzählig sein, und ich kann hier nur bedauern, dass die Unvollständigkeit meines Wissens mich verhindert, die geeigneten Anwendungen selbst zu machen. Ich möchte indess doch um Ihre Erlaubniss bitten, einige Punkte zu berühren, mit denen die soeben festgestellten Thatsachen mehr oder weniger eng verbunden sind.

488. Zuerst muss bemerkt werden, dass der Dampf, der so begierig Wärme absorbirt, sie auch reichlich ausstrahlt. Diese Thatsache muss, meiner Meinung nach, in den Tropen von grossem Einfluss sein. Wir wissen, dass die Sonne aus dem äquatorialen Ocean ungeheure Dampfmengen aufzieht, und dass gerade unter ihr, in der Region der Windstille, der durch die Verdichtung des Dampfes entstandene Regen in Strömen sich ergiesst. Man hat dies bisher der Abkühlung zugeschrieben, die die Ausdehnung der aufsteigenden Luft begleitet, und gewiss muss dieselbe, als die wahre Ursache, die entsprechende Wirkung hervorbringen. Ich muss aber glauben, dass die Ausstrahlung des Dampfes selbst auch einen Einfluss ausübt. Denken Sie sich eine Säule von gesättigter Luft, die von dem äquatorialen Ocean aufsteigt; für kurze Zeit ist der mit dieser Luft verbundene Dampf von fast vollkommen gesättigter Luft umgeben. Der aufsteigende Dampf strahlt aus, aber nur gegen den umgebenden Dampf, und für die Ausstrahlung von irgend einem Dampf ist derselbe Dampf, wie Kirchhoff bewiesen hat, besonders undurchlässig. Daher wird die Ausstrahlung unserer aufsteigenden Säule Anfangs aufgefangen und zum grossen Theil von dem umgebenden Dampf zurückgeworfen; es kann unter solchen Umständen keine Verdichtung eintreten. Aber die Menge des Wasserdampfes in der Luft vermindert sich schnell, sowie wir in die

Höhe steigen. Die Abnahme seiner Spannung, wie sie durch die Beobachtungen von Hooker, Strachy und Welsh bewiesen worden ist, ist viel schneller als die der Luft; und zuletzt ist unsere Dampfsäule über den schützenden Schirm erhoben, der während der ersten Zeit ihres Aufsteigens über ihr ausgebreitet war. Sie ist jetzt in dem dampfleeren Raume, und in den Raum strömt sie ihre Wärme aus ohne Hinderniss und ohne Ersatz. Dem so erfahrenen Wärmeverlust muss die Verdichtung des Dampfes und sein Fall in dichten Regenschauern gewiss zum Theil zugeschrieben werden.

489. Aehnliche Bemerkungen beziehen sich auf die Bildung von Haufenwolken in unseren Breitegraden; sie sind die Häupter von Dampfsäulen, die von der Erdoberfläche aufsteigen und verdichtet werden, sowie sie eine gewisse Höhe erreicht haben. So bildet die sichtbare Wolke das Kapitäl einer unsichtbaren Säule von dampferfüllter Luft. Sicher muss der Gipfel einer solchen Säule, wenn er über den niederen Dampfschirm, der die Erde umschliesst, emporragt und sich frei dem Raum darbietet, durch die Ausstrahlung abgekühlt werden; in dieser Wirkung allein haben wir die physikalische Ursache für die Bildung der Wolken.

490. Die Berge wirken wie Condensatoren, aber in welcher Weise? Zum Theil, ohne Zweifel, durch die Kälte ihrer eigenen Massen; diese Kälte verdanken sie ihrer Erhebung. Ueber ihnen breitet sich kein Dampfschirm von genügender Dichtigkeit aus, um ihre Wärme aufzufangen, die daher ohne Ersatz in den Raum ausströmt. Wenn die Sonne fort ist, zeigt sich dieser Verlust durch das schnelle Sinken des Thermometers. Dieses Sinken ist nicht der Ausstrahlung der Luft, sondern der Ausstrahlung der Erde oder des Thermometers selbst zuzuschreiben. So

muss der Unterschied zwischen einem Thermometer, das, gut verwahrt, die richtige Temperatur der Nachtluft angiebt, und zwischen einem, das frei gegen den Raum ausstrahlen kann, grösser auf hohen als auf niederen Erhebungen sein. Dieser Schluss wird durch die Beobachtung vollkommen bestätigt. Auf dem Grand Plateau des Mont Blanc haben z. B. die Herren Martins und Bravais den Unterschied zwischen zwei solchen Thermometern gleich 13,3° C. gefunden, während nur ein Unterschied von 5,6° in Chamouni beobachtet wurde.

491. Die Berge wirken aber auch als Condensatoren durch die Ablenkung der feuchten Winde nach oben und die darauf folgende Ausdehnung der Luft. Die so hervorgebrachte Abkühlung ist dieselbe, die die directe Erhebung einer Säule von warmer Luft in der Atmosphäre begleitet; die aufgestiegene Luft vollbringt Arbeit, und ihre Wärme wird dem entsprechend verzehrt. Zu diesen Ursachen müssen wir noch die ausstrahlende Kraft der so aufwärts steigenden feuchten Luft mit in Betracht ziehen. Sie wird dadurch über den Schutz der wässerigen Schicht hinaus gehoben, die dicht über der Erde liegt, strömt daher ihre Wärme frei in den Raum aus und bewirkt so ihre eigene Verdichtung. Ich denke, es kann kein Zweifel darüber walten, dass die ausserordentliche Ausstrahlungskraft des Wassers in allen seinen Aggregatzuständen eine grosse Rolle in den Bergregionen spielen muss. Es strahlt als Dampf seine Wärme in den Raum und befördert die Verdichtung; als Flüssigkeit strahlt es seine Wärme in den Raum und befördert das Gefrieren; als Schnee strahlt es seine Wärme in den Raum und verwandelt so die Oberflächen, auf die es fällt, in bei weitem kräftigere Condensatoren, als sie sonst gewesen wären. Von den vielen wunderbaren Eigenschaften

des Wassers ist seine ausserordentliche Fähigkeit, Wärmebewegung dem Aether im Weltenraum mitzutheilen, nicht die unwichtigste.

492. Ueberhaupt würde die Wärme von der Erdoberfläche ähnlich wie von den Dampfmassen in grossen Höhen leicht entweichen können, wäre der Wasserdampf aus der Luft über der Erde entfernt. Die Atmosphäre verhält sich in der That bei der Durchlassung der strahlenden Wärme wie ein Vacuum. Entfernt sich die Sonne von irgend einer Region, über der die Atmosphäre trocken ist, so muss schnell ein Gefrieren folgen. Durch die Wirkung dieser einzigen Ursache wird der Mond für Wesen gleich uns vollkommen unbewohnbar gemacht; der Unterschied zwischen seinem monatlichen Maximum und Minimum muss bei einer Ausstrahlung, die durch keinen Wasserdampf gehindert wird, ungemein gross sein. Der Winter in Thibet ist aus demselben Grunde fast unerträglich. Sehen Sie, wie die isothermischen Linien vom Norden aus im Winter nach Asien sich hinabbiegen, ein Beweis für die niedere Temperatur dieser Region. Humboldt hat die erkältende Kraft der centralen Theile dieses Continents hervorgehoben und der Ansicht widersprochen, dass dieselbe durch ihre Erhebung zu erklären sei, da grosse Landstriche nicht sehr hoch über der Meeresfläche lägen und doch eine sehr niedrige Temperatur hätten. Da aber Humboldt den Einfluss nicht kannte, den wir jetzt betrachten, so vernachlässigte er, wie ich glaube, eine sehr wichtige Ursache, die zu dem beobachteten Resultate beiträgt. Die Abwesenheit der Sonne bei Nacht bewirkt starke Abkühlungen, wenn die Luft trocken ist. Die Entfernung der Wasserdämpfe aus der Atmosphäre über England würde schon in einer einzigen Sommernacht von der

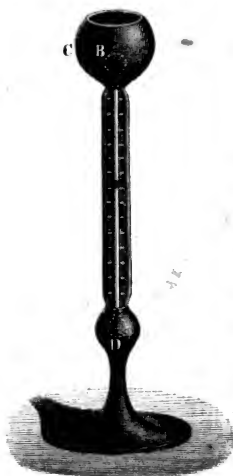
Vernichtung aller Pflanzen begleitet sein, die die Gefriertemperatur tödtet. In der Sahara, wo „der Boden Feuer und der Wind Flamme ist“, ist die Abkühlung Nachts oft schwer zu ertragen. Es bildet sich sogar Eis über Nacht in dieser Gegend. Auch in Australien ist der tägliche Wechsel der Temperatur sehr gross, er steigt gewöhnlich auf 40 und 50 Grad. Kurz, es kann mit Sicherheit vorher gesagt werden, dass überall da, wo die Luft trocken ist, der tägliche Temperaturwechsel gross sein wird. Dies heisst jedoch ganz etwas anderes, als wenn ich sagte, der Temperaturwechsel wird dort gross sein, wo die Luft klar ist. Grosse Klarheit für das Licht ist vollkommen verträglich mit grosser Undurchlässigkeit für Wärme; die Atmosphäre kann mit Wasserdampf erfüllt sein, während ein tiefblauer Himmel sich über uns wölbt, und in solchen Fällen würde die Erdausstrahlung, trotz der „Klarheit“, aufgefangen werden.

493. Und hier kommen wir leicht zu der Erklärung einer Thatsache, die Sir John Leslie augenscheinlich verwirrte. Dieser berühmte Gelehrte construirte ein Instrument, das er Aethrioskop nannte, und das dazu dienen sollte, die Ausstrahlung gegen den Himmel zu bestimmen. Es bestand aus zwei Glaskugeln, die durch eine senkrechte, so enge Glasröhre verbunden waren, dass eine kleine Flüssigkeitssäule in der Röhre durch ihre eigene Adhäsion getragen wurde. Die untere Kugel *D* (Fig. 99 a. f. S.) wurde durch eine metallische Umhüllung geschützt und nahm die Temperatur der Luft an; die obere Kugel *B* war geschwärzt und von einer Metallschale *C* umgeben, die die Kugel gegen die Erdausstrahlung schützte.

494. „Dieses Instrument,“ sagt der Erfinder, „wird, wenn es bei klarem Wetter der freien Luft ausgesetzt

wird, zu allen Zeiten, bei Tag und Nacht, die Wirkung der von den höheren Regionen niedergesendeten Kälte angeben . . . Die Empfindlichkeit dieses Instruments ist sehr überraschend, denn die Flüssigkeit steigt und fällt augenblicklich bei jeder vorbeiziehenden Wolke. Die Ursache der Veränderungen erscheint aber nicht jedes Mal so klar. Das Aethrioskop zeigt bisweilen bei schönem blauen Himmel eine Kälte von $^{50}/_{1000}$ Grad an; und doch ist an anderen Tagen, wenn die Luft gleich klar erscheint, die Wirkung kaum $^{30}/_{1000}$ Grad.“ Diese Anomalie ist einfach dem Unterschiede des Wasserdampfes in der Atmosphäre zuzuschreiben. In der That fasst Leslie selbst die Wirkung des Wasserdampfes in diesen Worten zusammen: „Der Druck der hygrometrischen Feuchtigkeit in der Luft afficirt wahrscheinlich das Instrument.“ Es ist indess nicht der „Druck“ *), der wirksam ist; das Dasein von unsichtbarem Dampf unterbrach die Ausstrahlung vom Aethrioskop, während dasselbe bei seiner Abwesenheit seine Ausstrahlung frei in den Raum entsenden konnte. In Betreff der Versuche über Erdausstrahlung muss eine neue Bestimmung für „einen

Fig. 99.



*) Möglicherweise ist das Wort „Druck“ (pressure) ein Druckfehler für „Gegenwart“ (presence).

klaren Tag" gegeben werden; es steht z. B. fest, dass bei den Versuchen mit dem Pyrheliometer*) zwei Tage von scheinbar gleicher Klarheit ganz verschiedene Resultate geben können. Wir wissen auch, dass die Ausstrahlung dieses Instruments oft aufgefangen wird, wenn auch keine Wolke zu sehen ist. Könnten wir indess die Bestandtheile der Atmosphäre, den Dampf mit eingeschlossen, sichtbar machen, so würden wir den Grund für dieses Resultat schon sehen können.

495. Ein anderer interessanter Punkt, der zu diesem Gegenstande in naher Beziehung steht, ist die Theorie des Regens ohne Wolken. „Viele Schriftsteller," schreibt Melloni, „schreiben der Kälte, die von der Ausstrahlung der Erde herkommt, den ausserordentlich feinen Regen zu, der öfter bei klarem Himmel in der schönen Jahreszeit kurz nach Sonnenuntergang fällt." — „Aber," fährt er fort, „da noch kein sicherer Beweis für die ausstrahlende Kraft reiner und durchsichtiger elastischer Flüssigkeiten bekannt ist, so scheint es mir entsprechender," u. s. w. u. s. w. Wenn die hier angeführte Schwierigkeit bei der Theorie des Regens ohne Wolken die einzige wäre, so würde die Theorie bestehen bleiben, denn es ist jetzt bewiesen, dass durchsichtige, elastische Flüssigkeiten in der That die Kraft der Ausstrahlung besitzen, die die Theorie annimmt. Es ist indess nicht der Ausstrahlung der Luft allein die Abkühlung zuzuschreiben, sondern auch der Ausstrahlung des Körpers selbst, dessen Verdichtung den Regen ohne Wolken hervorbringt.

496. Lassen Sie mich noch hinzufügen, dass, so weit ich bis jetzt urtheilen kann, Wasserdampf und flüssiges Wasser dieselbe Art von Strahlen absorbiren; es ist dies

*) Siehe Kapitel XIII.

eine andere Form für die Behauptung, dass die Farbe des reinen Wassers auch seinem Dampf zukommt. In Folge der Anwesenheit des Wasserdampfes ist daher die Atmosphäre ein blaues Medium. Ich glaube, es ist schon bemerkt worden, dass das Blau des Firmaments, ebenso wie die Farbe von entfernten Hügeln, mit der Menge des Wasserdampfs in der Luft dunkler wird; aber die Substanz, die eine Veränderung in der Tiefe der Farbe hervorbringt, muss auch selbst als eine Quelle von Farbe wirken. Ob das Blau des Himmels — die schwierigste Frage der Meteorologie — so zu erklären ist, das will ich jetzt nicht zu erforschen suchen*).

---

*) Bei Gelegenheit meiner Untersuchungen über die Ausstrahlung und Absorption der Wärme durch Gase und Dämpfe freut es mich, der schnellen und intelligenten Hülfe erwähnen zu können, die mir Herr Becker, von der Firma Elliott's, West Strand, leistete.

Es kann eine Reihe sehr überraschender Experimente mit den kräftiger wirkenden Gasen und Dämpfen angestellt werden, die für den Chemiker und den Physiker gleich interessant sind. Herr Becker hat einen billigen Apparat construirt, der sich für die Experimente eignet. Wo keine quantitativen Untersuchungen nöthig sind, genügen zwei Würfel voll warmem Wasser, eine offene Zinnröhre, eine thermo-elektrische Säule und ein Galvanometer, wie es im Anhang zu Kapitel I. beschrieben ist, um die Wirkung der kräftigeren Gase und Dämpfe zu zeigen. Der Luftstrom eines gewöhnlichen Blasebalgs genügt, um den Dampf in die Röhre einzuführen.

Das Bedenken, von meinem Gegenstand zu weit geführt zu werden, veranlasst mich, alle Betrachtungen über die Ursache der atmosphärischen Polarisation bei Seite zu lassen. Ich will indess bemerken, dass die Polarisation der Wärme mit Hülfe der Glimmersäulen nachgewiesen wurde, mit denen es zuerst Herrn Professor (jetzt Principal) J. D. Forbes gelang, das Factum der Polarisation festzustellen. (T.)

Die bedeutende Absorptionskraft des Wasserdampfes für strahlende Wärme, welche Herr Tyndall aus seinen Versuchen gefolgert hat, ist von Herrn Magnus durch eine Reihe von experimentellen Untersuchungen in Zweifel gezogen worden. Die Discussion über diesen schwierigen Gegenstand scheint auch jetzt noch nicht ihr Ende erreicht zu haben; es dürfte deshalb an diesem Orte genügen, nur auf die betreffende Literatur zu ver-

weisen. Der Inhalt eines Theiles der unten erwähnten Aufsätze des Herrn Tyndall ist schon recht vollständig in dem vorliegenden Werke wiedergegeben.*

Magnus, Verbreitung der Wärme in den Gasen. Poggendorff's Annalen Bd. CXII, S. 497. 1861*.

Tyndall, On the Absorption and Radiation of Heat by Gases and Vapours. Philos. Transactions. 1861. Phil. Mag. Vol. XXII, p. 169. 273. 1861.* Pogg. Annal. Bd. CXIII, S. 1*.

Tyndall, Remarks on Radiation and Absorption. Phil. Mag. Vol. XXII, p. 377. 1861*. Pogg. Annal. Bd. CXIV, S. 632.

Magnus, Ueber den Durchgang der strahlenden Wärme durch Luft und die hygroskopischen Eigenschaften des Steinsalzes. Pogg. Annal. Bd. CXIV, S. 635. 1861*.

Tyndall, Remarks on Receut Researches on Radiant Heat. Phil. Mag. Vol. XXIII, p. 252. 1862*.

Tyndall, On the Absorption and Radiation of Heat by Gaseous Matter. Philos. Transactions, 1862, pt. I. Phil. Mag. Vol. XXIV, p. 270. 337. 422. 1862*. Pogg. Annal. Bd. CXVI, S. 1. 289*.

Tyndall, On Radiation through the Earth's Atmosphere. Phil. Mag. Vol. XXV, p. 200. 1863*.

Magnus, Ueber die Diathermansie trockner und feuchter Luft. Pogg. Annal. Bd. CXVIII, S. 575. 1863*.

Tyndall, On the Relation of Radiant Heat to Aqueous Vapour. Philos. Transactions, 1863, pt. I; Phil. Mag. Vol. XXVI, p. 30. 1863*.

Tyndall, On the Passage of Radiant Heat through Dry and Humid Air. Phil. Mag. Vol. XXVI, p. 44. 1863*.

Magnus, Ueber die Verdichtung von Dämpfen an der Oberfläche fester Körper. Pogg. Annal. Bd. CXXI, S. 174. 1864*.

Magnus, Ueber den Einfluss der Condensation bei Versuchen über Diathermansie. Pogg. Annal. Bd. CXXI, S. 186. 1864*.

Frankland, Ueber die physikalische Ursache der Eiszeit. Pogg. Annal. Bd. CXXIII, S. 418. 1864*. (Anmerkung auf S. 425; für Tyndall's Ansicht).

Magnus, Ueber den Einfluss der Absorption der Wärme auf die Bildung des Thaus. Pogg. Annal. Bd. CXXVII, S. 613. 1866*.

Tyndall, Remarks on the Paper of Professor Magnus. Phil. Mag. Vol. XXXII, p. 118. 1866.

Wild, Ueber die Absorption der strahlenden Wärme durch trockne und durch feuchte Luft. Pogg. Annal. Bd. CXXIX, S. 57. 1866*. (für Tyndall's Ansicht).

Magnus, Ueber den Einfluss der Vaporhäsion bei Versuchen über Absorption der Wärme. Pogg. Annal. Bd. CXXX, S. 207. 1867*.

G. Wiedemann.

Anhang zum elften Kapitel.

Auszüge aus einem Vortrag: „Ueber die Strahlung durch die Atmosphäre der Erde“.

„Es erhielt niemals Jemand einen Begriff von einer Linie nach der Definition, die Euclid von ihr gab — Länge ohne Breite“. Der Begriff wird durch eine wirkliche, physikalische Linie erhalten, die durch eine Feder oder einen Bleistift gezogen worden ist und daher Breite hat; dieser Begriff ist nachher durch einen Process der Abstraction mehr mit den Bedingungen der Definition in Uebereinstimmung gebracht worden. Ebenso verhielt es sich mit den physikalischen Erscheinungen; wir müssen uns zu dem Begriff des Unsichtbaren durch geeignete Bilder verhelfen, die dem Sichtbaren entnommen sind, und nachher unsere Begriffe läutern, so weit es nöthig ist. Bestimmtheit der Begriffe, selbst bei einiger Aufopferung der Feinheit, ist vom grössten Nutzen, wenn man mit physikalischen Erscheinungen zu thun hat. Man könnte in der That fragen, ob ein in physikalischen Untersuchungen geübter Forscher sich je zufrieden geben könnte, wenn er nicht irgend einen Weg gefunden hat, um die Erscheinungen zu begreifen, die jenseits der Grenzen der Sinne liegen, und von denen doch die sämmtlichen Erscheinungen ausgehen.

„Wenn wir von der Strahlung durch die Atmosphäre sprechen, so sollten wir im Stande sein, bestimmte physikalische Begriffe, sowohl mit dem Ausdruck Atmosphäre, als mit dem Ausdruck Strahlung zu verbinden. Es ist bekannt, dass unsere Atmosphäre hauptsächlich aus zwei Elementen zusam-

mengesetzt ist, aus Sauerstoff und Stickstoff. Ihre elementaren Atome kann man sich als kleine Kugeln denken, die dicht im Raum verstreut sind, der unsere Erde unmittelbar umgiebt. Sie bilden ungefähr $99^1/_2$ Procent unserer Atmosphäre. Mit diesen Atomen gemischt haben wir andere von vollkommen verschiedenem Charakter; wir haben die Moleküle oder Atomgruppen von Kohlensäure, von Ammoniak und von Wasserdampf. In diesen Substanzen haben sich verschiedene Atome verbunden, die kleine Systeme von Atomen bilden. Das Molekül des Wasserdampfs besteht z. B. aus zwei Atomen Wasserstoff, die mit einem Atom Sauerstoff verbunden sind, und sie mischen sich wie kleine Triaden zwischen die Monaden des Sauerstoffs und Stickstoffs, die die grosse Masse der Atmosphäre bilden.

„Diese Atome und Moleküle sind von einander getrennt, aber von einem gemeinsamen Medium umgeben. Es giebt in unserer Atmosphäre eine zweite und feinere Atmosphäre, in der die Atome von Sauerstoff und Stickstoff wie schwebende Körner hängen, Diese feinere Atmosphäre verbindet nicht nur Atom mit Atom, sondern auch Stern mit Stern, und das Licht aller Sonnen und aller Sterne ist eigentlich nur eine Art Musik, die durch diese zwischenweltliche Luft fortgepflanzt wird. Wenn Sie das Bild klar begriffen haben, können wir einen Schritt weiter gehen. Wir müssen uns unsere Atome nicht nur im Medium schwebend, sondern auch darin schwingend denken. Aus dieser Bewegung der Atome besteht das, was wir ihre Wärme nennen. „Was in uns Wärme ist,“ ist, wie Locke es vortrefflich ausgedrückt hat, „im erwärmten Körper nichts als Bewegung.“ Wir müssen uns nun diese Bewegung dem Medium mitgetheilt denken, in dem die Atome schwingen, und uns vorstellen, dass sie sich in Kräuselungen durch dasselbe mit unglaublicher Geschwindigkeit bis an die Grenzen des Raumes fortpflanzt. Die Bewegung, welche in dieser Weise nicht mit gewöhnlicher Materie verbunden ist, sondern durch das zwischenweltliche Medium eilt, erhält den Namen strahlende Wärme, und wenn sie fähig ist, die Nerven des Auges zu erregen, nennen wir sie Licht.

„Es wurde gezeigt, dass Wasserdampf unsichtbares Gas ist.

Man liess Dampf mit grosser Gewalt horizontal aus einer Röhre ausströmen, die mit einem kleinen Kessel verbunden war. Die Spur der Wolke des verdichteten Stromes war hell vom elektrischen Licht beleuchtet. Was gesehen wurde, war indess nicht Dampf, sondern zu Wasser verdichteter Dampf. Jenseits des sichtbaren Endes des Strahles löste sich die Wolke wieder in rechten Dampf auf. Eine Lampe wurde an verschiedenen Punkten unter den Strahl gestellt; die Wolke war an einem Punkte scharf abgeschnitten, und wenn die Flamme nahe an die Ausflussöffnung gestellt wurde, verschwand die Wolke gänzlich. Die Wärme der Lampe verhinderte den Niederschlag vollständig. Dieser selbe Dampf wurde verdichtet und erstarrte auf der Oberfläche eines Gefässes, das eine Kältemischung enthielt, zu Eis, welches sodann in genügenden Mengen abgekratzt wurde, um einen kleinen Schneeball zu machen. Ueberdies wurde der Strahl der elektrischen Lampe durch einen grossen Recipienten geleitet, der auf einer Luftpumpe stand. Ein einziger Zug mit der Pumpe bewirkte den Niederschlag des im Inneren befindlichen Wasserdampfes, der durch den Strahl schön beleuchtet wurde, während auf einem dahinter stehenden Schirm ein reich gefärbter Hof in Folge der Beugung des Lichtes durch die kleine Wolke im Recipienten hervorstrahlte.

„Die Wärmewellen eilen von unserer Erde durch die Atmosphäre nach dem Weltenraum. Diese Wellen stossen auf ihrem Wege gegen die Atome des Sauerstoffs und Stickstoffs und gegen die Moleküle des Wasserdampfs. Wir könnten kaum glauben, dass, so dünn zerstreut, wie diese letzteren sind, sie dennoch als Schranken gegen die Wärmewellen dienen. Wir könnten glauben, dass die grossen Zwischenräume zwischen den Dampfmolekülen eine offene Thür für den Durchgang der Wellen bildeten, und dass, wenn diese Wellen überhaupt aufgefangen würden, es durch die Substanzen geschehen müsste, die 99½ Procent unserer Atmosphäre bilden. Vor drei oder vier Jahren fand indess der Redner, dass diese kleine Menge Wasserdampf eine 15mal grössere Wärmemenge auffing, als von der ganzen Luft, in der er vertheilt war, aufgehalten wurde. Nachher wurde beobachtet, dass die trockne Luft, mit der die Versuche

gemacht worden waren, nicht ganz rein war, und dass, je reiner die Luft wurde, sie sich desto mehr dem Charakter des Vacuums näherte, und dass die Wirkung des Wasserdampfes, im Vergleich, desto grösser wurde. Es fand sich, dass der Dampf mit 30, 40, 50, 60, 70 mal grösserer Kraft wirkte, als die Luft, in der er vertheilt war, und es konnte kein Zweifel obwalten, dass der Wasserdampf der Luft, die das Auditorium der Royal Institution während dieses Vortrages erfüllte, 90 oder 100 mal mehr strahlende Wärme absorbirte, als die Hauptmasse der Luft im Zimmer. Betrachten wir die einzelnen Atome, so ist immer ungefähr 1 Wasserdampfatom für je 200 Atome Sauerstoff und Stickstoff vorhanden. Dieses eine Atom wirkt 80 mal stärker als die 200; und daher können wir schliessen, wenn wir ein einziges Atom Sauerstoff oder Stickstoff mit einem einzigen Atom Wasserdampf vergleichen, dass die Wirkung des letzteren 16,000 mal so gross als die des ersteren ist.

„Es kann kein Zweifel über die ausserordentliche Undurchlässigkeit dieser Substanz für Strahlen von dunkler Wärme obwalten; besonders für solche Strahlen, die von der Erde ausgegeben werden, nachdem sie von der Sonne erwärmt worden ist. Der Wasserdampf ist eine Decke, die dem Pflanzenleben Englands nothwendiger ist, als die Kleidung dem Menschen. Nehmen Sie für eine einzige Sommernacht den Wasserdampf der Luft, der sich über dieses Land ausbreitet, fort, so würden Sie sicher jede Pflanze zerstören, die durch eine Gefriertemperatur zerstört werden kann. Die Wärme unserer Felder und Gärten würde unersetzt in den Raum ausströmen und die Sonne würde über einer Insel aufgehen, die fest in dem eisernen Griff des Frostes gehalten wird. Der Wasserdampf bildet einen localen Damm, durch den die Temperatur auf der Erdoberfläche vermehrt wird; zuletzt wird der Damm aber doch überströmt und wir geben dem Weltenraum Alles, was wir von der Sonne empfangen haben.

Die Sonne zieht die Dämpfe des äquatorialen Oceans empor; sie steigen auf, für eine Zeit lang breitet sich aber ein Dampfschirm über und um sie aus. Je höher sie aber steigen, desto mehr nähern sie sich dem reinen leeren Raum; und

wenn sie, vermöge ihrer Leichtigkeit, durch den Dampfschirm gedrungen sind, der dicht über der Erdoberfläche liegt, was geschieht dann?

Wir haben gesagt, dass wenn man Atom mit Atom vergleicht, die Absorption eines Atoms Wasserdampf 16,000 mal so gross als die der Luft sei. Nun sind die Kräfte der Absorption und Ausstrahlung einander vollkommen entsprechend und proportional. Daher wird ein Atom Wasserdampf mit einer 16,000 mal grösseren Kraft ausstrahlen, als ein Luftatom. Denken Sie sich nun diesen mächtigen Strahler im Weltenraum, ohne einen Schirm über sich, der seine Ausstrahlung hemmen kann. Er strömt seine Wärme in den Raum aus, kühlt sich ab, verdichtet sich und die tropischen Regengüsse sind die Folge dieses Processes. Ohne Zweifel kühlt ihn auch die Ausdehnung der Luft ab; wenn aber von Sündfluthen die Rede ist, so muss die Abkühlung des Dampfes durch seine eigene Ausstrahlung eine sehr grosse Rolle spielen. Der Regen verlässt als Dampf den Ocean, und kehrt als Wasser zu ihm zurück. Was ist aus den grossen Wärmevorräthen geworden, die durch den Uebergang vom Dampf zum flüssigen Zustande frei geworden sind? Sie sind ohne Zweifel durch Ausstrahlung zum grossen Theil im Raum verschleudert. Aehnliche Bemerkungen beziehen sich auf die Haufenwolken unserer Breitegrade. Die erwärmte Luft, von Dampf erfüllt, steigt in Säulen auf, so dass sie den Dampfschirm durchdringt, der die Erde umschliesst; im Weltenraum verliert der Gipfel jeder Säule seine Wärme durch Strahlung und verdichtet sich zu einer Haufenwolke, die das sichtbare Capitäl einer unsichtbaren Säule von gesättigter Luft bildet.

Zahllose andere meteorologische Erscheinungen finden ihre Lösung in der Bezugnahme auf die strahlenden und absorbirenden Eigenschaften des Wasserdampfs.

Die strahlende Kraft des Dampfes ist seiner absorbirenden Kraft proportional. Versuche über die dynamische Ausstrahlung von getrockneter und ungetrockneter Luft beweisen den Vorrang der letzteren als Ausstrahler. Der folgende Versuch, der von Dr. Frankland im Hörsaal der Royal Institution gemacht wurde, zeigte die Wirkung einer grossen Versamm-

lung. Eine Kohlenpfanne von 14 Zoll Höhe und 6 Zoll Durchmesser wurde in einer Entfernung von 2 Fuss vor die thermo-elektrische Säule gestellt. Die Ausstrahlung der Kohlenpfanne selbst wurde von einem Metallschirm aufgefangen. Die Ablenkung, die der Ausstrahlung der aufsteigenden Säule von heisser Kohlensäure zuzuschreiben war, wurde vorsichtig durch eine beständige Wärmequelle neutralisirt, die gegen die entgegengesetzte Fläche der Thermosäule strahlte. Ein Strom von Dampf wurde senkrecht durch die Kohlenpfanne gepresst. Die Ablenkung des Galvanometers erfolgte schnell und stark. Wurde der Dampfstrom unterbrochen, so kehrte die Nadel auf Null zurück. Wenn statt des Dampfstroms ein Luftstrom durch die Kohlenpfanne gepresst wurde, so zeigte die geringe Wirkung, dass die Säule abgekühlt, und nicht erwärmt worden war. Dr. Frankland verglich bei diesem Versuche Wasserdampf nicht mit Luft, sondern mit der bei weitem stärker wirkenden Kohlensäure, und bewies die Ueberlegenheit des Dampfes als Ausstrahler *).

Die folgende merkwürdige Stelle aus Hooker's „Himalayan Journals“ erste Ausgabe Vol. II, p. 407, bezieht sich auch auf diesen Gegenstand: „Aus einer Menge flüchtiger Beobachtungen schliesse ich, dass bei 7400 Fuss Höhe 52° C. oder eine Temperaturerhöhung von 37,2° C. über die Lufttemperatur die mittlere Wirkung der Sonnenstrahlen auf ein Thermometer mit geschwärzter Kugel ist . . . Diese Resultate, obgleich sie die in Calcutta erhaltenen weit übertreffen, sind nicht viel, wenn überhaupt grösser, als die auf den Ebenen Indiens beobachteten. Die Wirkung wird durch die Höhe bedeutend vermehrt. Ich sah bei 10,000 Fuss Höhe im December um 9 Uhr Morgens das Quecksilber auf 55,5° C. steigen, während die Temperatur des dicht daneben liegenden beschatteten Schnees — 5,6° C. war. Bei 13,000 Fuss Höhe stand es im Januar um 9 Uhr Morgens auf 36,7° C., also 37,9° C., und um 10 Uhr Morgens auf 45,6° C., also 45,2° C. über dem beschatteten Thermometer, während das ausstrahlende Thermometer auf dem Schnee bei Sonnenaufgang auf — 18,2° gefallen war.

*) Phil. Mag. Vol. XXVII, p. 326.

Diese grossen Unterschiede zwischen der beschatteten und der unbeschatteten Luft und zwischen der Luft und dem Schnee sind ohne Zweifel der geringen Menge von Wasserdampf auf dieser Höhe zuzuschreiben. Die Luft ist unfähig, die Strahlung der Sonne oder Erde zu hemmen, und darum muss der Abstand zwischen dem Maximum der Wärme in der Sonne und dem Maximum der Kälte im Schatten sehr gross sein. Der gleiche Grund erklärt den Unterschied zwischen Calcutta und den Ebenen Indiens.

Dr. Livingstone hat in seinen „Reisen in Südafrika" merkwürdige Beispiele des Unterschiedes der nächtlichen Abkühlung bei trockner oder mit Feuchtigkeit beladener Luft angegeben. So findet er im südlichen Mittelafrika während des Juni das Thermometer Morgens auf 5,6° C. bis 11,1° C.; um Mittag auf 34,4° C. bis 35,6° C., also einen mittleren Unterschied von 26,6° C. zwischen Sonnenaufgang und Mittag. Der Abstand wäre wahrscheinlich noch grösser gewesen, hätte er das Thermometer nicht in dem Schatten seines Zelts aufgehängt, das unter dem dicksten Baum aufgeschlagen worden war, den er hatte finden können. Er fügt überdies hinzu, „das Gefühl der Kälte nach der Wärme des Tages war empfindlich. Die Balonda verlassen in dieser Jahreszeit vor 9 oder 10 Uhr Morgens ihre Feuer nicht. Da die Kälte hier so empfindlich war, hatte es wahrscheinlich in Linyanti gefroren; ich fürchtete daher, meine jungen Bäume dort der Gefahr auszusetzen" *).

Dr. Livingstone reiste nachher durch den Continent und erreichte am Anfang des Jahres den Fluss Zambesi. Hier waren die Temperaturabstände von 26,6 auf 6,6° zurückgegangen. Er beschrieb die Veränderung, die er beim Eintritt in das Thal des Flusses empfand, folgendermaassen: „Wir wurden durch die Thatsache überrascht, dass, sobald wir zwischen die Bergkette kamen, die den Zambesi begleitet, die Regen warm wurden. Bei Sonnenaufgang stand das Thermometer zwischen 27,8 und 30°; zu Mittag, im kühlsten Schatten in meinem kleinen Zelt unter einem schattigen Baume, zwischen 35,6 bis 36,7°, und bei Sonnenuntergang auf 30°.

*) Livingstone's Travels, p. 484.

Dieses Resultat weicht von allen unseren Beobachtungen im Innern ab" *).

Am 16. Januar, als sie nach der Mündung des Flusses weiter gingen, machte er folgende weitere Beobachtung: „Der Zambesi ist hier (bei Zumbo) sehr breit, bildet aber viele bewohnte Inseln. Wir schliefen am 16. einer gegenüber, Shibanga genannt. Die Nächte waren warm, da die Temperatur nie unter 26,7° sank; bei Sonnenuntergang war sie sogar 32,8°. Man kann das Wasser nicht einmal durch ein nasses Tuch um das Gefäss abkühlen . . . **)".

In Mittelaustralien sind die täglichen Temperaturwechsel noch grösser. Der folgende Auszug ist aus einer Abhandlung von Mr. W. S. Jevons, „Ueber einige Data in Bezug auf das Klima von Australien und Neuseeland: . . . ." „Im Inneren des Continents von Australien steigen die Schwankungen der Temperatur ungemein. Die Wärme der Luft, wie sie Capitain Sturt beschreibt, ist während des Sommers erschrecklich; so schreibt er unter 30° 50′ südl. Breite und 141° 18′ östliche Länge: „Das Thermometer stieg täglich bis 44,4 oder 46,6° im Schatten, während es unter den directen Strahlen der Sonne auf 60 bis 65,4° stieg." Und an einem anderen Orte „um ein Viertel nach drei Uhr Nachmittags, am 21. Januar (1845) war das Thermometer auf 55° im Schatten und auf 67,8° unter den directen Strahlen der Sonne gestiegen, . . ." Im Winter wurde ein niedriger Thermometerstand von — 4,4 beobachtet, was Abstände von 59,4° giebt.

Die Schwankungen der Temperatur waren oft sehr stark und plötzlich und wurden schwer empfunden. Bei einer Gelegenheit (25. Oktober) stieg die Temperatur während des Tages auf 43,3°, da aber ein Wind eintrat, so fiel sie bis zum folgenden Sonnenaufgang auf 3,3°; so schwankte sie um 40° in weniger als 24 Stunden . . . Mitchell hatte auf seiner letzten Reise in das nordwestliche Innere sehr kalte, eisige Nächte. Am 22. Mai stand das Thermometer auf — 11,1° in

*) Livingstone's Travels, p. 575.

**) Ebendaselbst p. 589.

der freien Luft . . . doch war über Tag die Luft warm und die täglichen Temperaturwechsel ungeheuer. So stieg am 2. Juni das Thermometer von — 11,6° bei Sonnenaufgang auf 19,4° bis vier Uhr Nachmittags, oder ging durch einen Abstand von 31°. Am 12. Juni war der Abstand 29,4° und an vielen anderen Tagen fast eben so gross.

Selbst in Sydney sind die mittleren täglichen Temperaturwechsel 11,7°, während sie in Greenwich nur 9,4° betragen. „So scheint es, dass selbst nahe dem Ocean der mittlere tägliche Wechsel des Klimas in Australien sehr bedeutend ist. Er ist am geringsten im Herbst und am grössten während der wolkenlosen Tage des Frühlings.“

Nachdem Mr. Jevons eine Tabelle der Regenmengen in Australien für die verschiedenen Jahreszeiten gegeben hat, bemerkt er, dass „es klar bewiesen ist, dass die regnerischtste Jahreszeit an der Ostküste der Herbst ist, d. h. die drei Monate März, April, Mai. Das Frühjahr scheint am trockensten zu sein, Sommer und Winter liegen dazwischen.“

Ohne Europa zu verlassen, finden wir Orte, wo die Temperatur am Tage sehr hoch steigt, während die Stunde vor Sonnenaufgang empfindlich kalt ist. Ich habe dies oft in den Postwagen in Deutschland erfahren, und man hat mir erzählt, dass die Bauern in Ungarn, wenn sie in der Nacht im Freien sind, selbst bei heissem Wetter sich durch schwere Mäntel gegen die nächtliche Abkühlung zu schützen pflegen. Die Beobachtungen der Herren Bravais und Martins auf dem Grand Plateau des Mont Blanc habe ich schon angeführt. Herr Martins hat uns erst kürzlich noch weiter belehrt, indem er Beobachtungen über die Erwärmung des Bodens in grossen Höhen angestellt, und auf der Spitze des Pic du Midi gefunden hat, dass die Wärme des der Sonne ausgesetzten Erdbodens grösser ist als die der Luft, und zwar um doppelt so viel, als im Thal am Fusse des Berges. „Die bedeutende Erwärmung des Bodens,“ schreibt Herr Martins, „im Vergleich zu der der Luft auf hohen Bergen ist um so bemerkenswerther, als die Abkühlung während der Nacht durch Ausstrahlung dort viel grösser ist, als in der Ebene.“ Die Beobachtungen des Herrn Schlag-

intweit bieten, wenn ich mich nicht irre, viele Beispiele für die Wirkung des Wasserdampfs, und ich zweifele nicht, dass, jemehr diese Frage geprüft wird, desto klarer es hervortreten wird, dass die strahlenden und absorbirenden Kräfte dieser Substanz sie eine sehr wichtige Rolle bei den meteorologischen Erscheinungen spielen lassen.

Zwölftes Kapitel.

Absorption der Wärme durch flüchtige Flüssigkeiten. — Absorption der Wärme durch die Dämpfe dieser Flüssigkeiten bei gewöhnlichem Druck. — Absorption der Wärme durch dieselben Dämpfe, wenn die Dampfmengen den Flüssigkeitsmengen proportional sind. — Vergleichende Uebersicht der Wirkung der Flüssigkeiten und ihrer Dämpfe auf strahlende Wärme. — Physikalische Ursache der Undurchlässigkeit und der Durchlässigkeit. — Einfluss der Temperatur auf die Durchlassung von strahlender Wärme. — Veränderungen der Stellung durch Temperaturveränderungen. — Ausstrahlung von Flammen. — Einfluss der Schwingungsdauer auf die Durchlassung der strahlenden Wärme. — Erklärung der Resultate von Melloni und Knoblauch.

---

497. Die Naturwissenschaft der Zukunft muss, nach meinem Dafürhalten, sich hauptsächlich mit der Erforschung der Beziehungen beschäftigen, die zwischen der gewöhnlichen Materie des Weltalls und dem Aether bestehen, in den diese Materie versenkt ist. Was die Bewegungen des Aethers selbst anbetrifft, so haben die optischen Forschungen der letzten Hälfte des Jahrhunderts nichts zu wünschen übrig gelassen; was aber die Atome und Moleküle anbetrifft, von denen die Schwingungen des Lichtes und der Wärme ausgehen, und ihre Beziehung zu dem Medium, in dem sie sich bewegen, und durch das sie in Bewegung gesetzt werden, darüber belehren uns diese

Forschungen wenig. Es war der hauptsächliche Zweck dieser Untersuchungen über die Ausstrahlung und Absorption der Wärme durch Gase und Dämpfe, die ich in kurzem Umriss vor Ihnen entworfen habe, dem Ursprung der Aetherwellen näher zu kommen, und, wenn möglich, durch Versuche irgend einen Anhaltspunkt für die schwingenden Atome selbst zu erhalten.

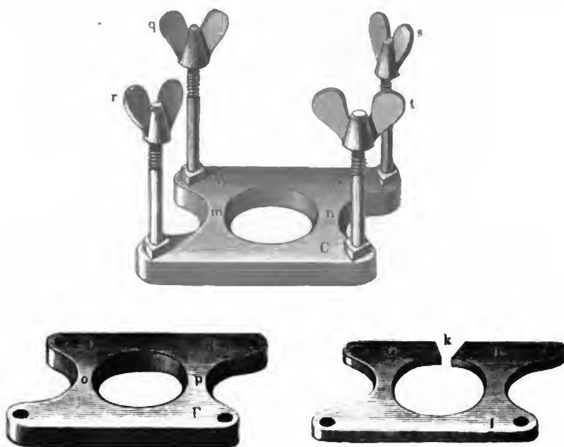
498. Diese Forschungen haben uns die Unterschiede gezeigt, die zwischen den verschiedenen gasförmigen Molekülen in Bezug auf ihr Emissions- und Absorptionsvermögen für strahlende Wärme bestehen. Wenn ein Gas zu einer Flüssigkeit verdichtet wird, so nähern sich die Moleküle und halten einander fest durch Kräfte, die so lange unmerklich waren, als der gasförmige Zustand andauerte. Aber obgleich sie so verdichtet und gefesselt sind, so umgiebt der Alles durchdringende Aether doch diese Moleküle. Wenn nun die Kraft der Ausstrahlung und Absorption von ihnen selbst abhängt, so können wir hoffen, dass das Verhalten des freien Moleküls gegen strahlende Wärme sich auch noch erhält, selbst wenn dieses Molekül seine Freiheit verloren hat und Theil einer Flüssigkeit geworden ist. Wenn auf der anderen Seite der Aggregatzustand von überwiegendem Einfluss ist, so können wir von Seiten der Flüssigkeit ein ganz verschiedenes Verhalten als bei ihrem Dampfe erwarten. Wir haben jetzt zu untersuchen, welche von diesen Anschauungen der Wahrheit entspricht.

499. Melloni untersuchte die Diathermansie verschiedener Flüssigkeiten, aber er benutzte für diesen Zweck die Flamme einer Oellampe, die mit einem Glascylinder bedeckt war. Ueberdies waren seine Flüssigkeiten in Glaszellen enthalten; daher war die Ausstrahlung bedeutend modificirt, ehe sie überhaupt in die Flüssig-

keit eintrat, da das Glas für einen grossen Theil der Strahlung undurchdringlich ist. Bei der Prüfung der jetzt vor uns liegenden Frage war es mein Wunsch, so wenig als möglich die ursprüngliche Ausstrahlung zu beeinträchtigen, und es wurde daher ein Apparat construirt, in dem eine Flüssigkeitsschicht von irgend einer Dicke zwischen zwei polirten Platten von Steinsalz eingeschlossen werden konnte.

500. Der Apparat besteht aus den folgenden Theilen: *A B C* (Fig. 100) ist eine Messingplatte von 3,4 Zoll Länge,

Fig. 100.



2,1 Zoll Breite und 0,3 Zoll Dicke. An diese sind an ihren Ecken vier aufrechtstehende Säulen fest angefügt worden, die an der Spitze mit Schrauben versehen sind,

auf welche sich die Muttern *q r s t* schrauben. *D E F* ist eine zweite Messingplatte von derselben Grösse wie die vorige; sie ist an ihren vier Ecken von Löchern durchbohrt, so dass sie über die vier Säulen der Platte *A B C* geschoben werden kann. Diese beiden Platten sind von ringförmigen Oeffnungen *m n* und *o p* durchbohrt, die 1,35 Zoll im Durchmesser haben. *G H I* ist eine dritte Messingplatte von demselben Flächeninhalt wie *D E F*, und gleich ihr ist sie in der Mitte und an ihren Ecken durchbohrt. Die Platte *G H I* ist dazu bestimmt, die beiden Steinsalzplatten, die die Wände der Zelle bilden sollen, zu trennen, und ihre Dicke bestimmt die der flüssigen Schicht. Die Trennungsplatte *G H I* wurde mit der äussersten Genauigkeit geschliffen, und die Oberflächen des Salzes wurden mit der grössten Sorgfalt polirt, in der Absicht, die Berührung zwischen Salz und Messing flüssigkeitsdicht zu machen. Beim Gebrauch fand man es indess doch für nöthig, dünnes Briefpapier zwischen die Salzplatten und die Trennungsplatte zu legen.

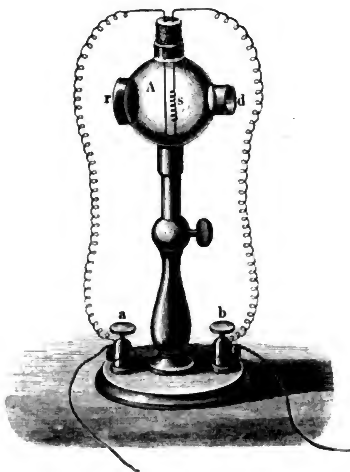
501. Richtet man die Zelle für den Versuch ein, so werden die Muttern *q r s t* abgeschraubt und ein Ring von Kautschuk zuerst auf *A B C* gelegt. Auf diesen Ring kommt eine der Steinsalzplatten. Auf die Steinsalzplatte legt man einen Ring von Briefpapier und auf diesen wieder die Trennungsplatte *G H I*. Ein zweiter Ring von Papier wird auf die Platte gelegt, dann kommt die zweite Salzplatte, auf die ein anderer Kautschukring gelegt wird. Die Platte *D E F* wird zuletzt über die Säulen geschoben und die ganze Einrichtung durch die Muttern *q r s t* fest zusammengeschraubt. Wenn so die Salzplatten in ihrer Lage sind, wird ein Cylinder, so lang wie die Platte *G H I* dick ist, zwischen ihnen eingeschlossen, und dieser Raum kann mit irgend einer Flüssigkeit durch

die Oeffnung *k* gefüllt werden. Der Zweck der Kautschukringe ist, den Druck zu vermindern, den die Salzplatten erleiden würden, wenn sie mit dem Messing in directe Berührung kämen, und der Zweck der Papierringe ist, wie schon erklärt, die Zelle flüssigkeitsdicht zu machen. Nach jedem Versuche wird der Apparat auseinander geschraubt, die Salzplatten fortgenommen und gründlich gereinigt; die Zelle wird dann wieder zusammengestellt und in zwei oder drei Minuten ist alles für einen neuen Versuch fertig.

502. Demnächst bedurfte ich einer vollkommen constanten Wärmequelle von genügender Intensität, um die am meisten absorbirende Flüssigkeit so zu durchdringen, dass sie untersucht werden konnte. Diese wurde in einer Spirale von Platindraht gefunden, die durch einen elektrischen Strom weissglühend gemacht wurde. Durch den häufigen Gebrauch dieser Wärmequelle kam ich auf die Construction der Lampe Fig. 101. *A* ist eine Glaskugel von 3 Zoll Durchmesser, die auf einem Ständer befestigt ist, der höher und niedriger geschraubt werden kann. Am oberen Theil der Kugel ist eine Oeffnung, in die ein Pfropfen passt, und durch den Pfropfen gehen zwei Drähte, deren Enden durch die Platinspirale *S* verbunden werden. Die Drähte werden zu den Klemmschrauben *a b* am Fusse des Ständers heruntergeführt, so dass, wenn das Instrument mit der Batterie verbunden ist, kein Zug auf die Drähte ausgeübt werden kann, die die Spirale tragen. Die Enden des dicken Drahtes, an dem die Spirale befestigt ist, sind ebenfalls von starkem Platin, denn als dieselbe an Kupferdrähten befestigt worden war, änderte sich die Intensität des Stromes durch ihre Oxydation. Die Wärme strömt von der weissglühenden Spirale durch die Oeffnung *d* aus, die ein und einen halben Zoll Durch-

messer hat. Hinter der Spirale befindet sich endlich ein Metallspiegel *r*, der den Wärmestrom vermehrt, ohne seine Qualität merklich zu verändern. Die rothglühende Spirale

Fig. 101.



ist in der offenen Luft eine capriciöse Wärmequelle; bewundernswerth ist aber ihre Beständigkeit, wenn sie von der Glaskugel umgeben ist.

503. Die ganze Einrichtung für den Versuch wird durch die Zeichnung Fig. 102 a. f. S. sogleich verständlich werden. *A* ist die eben beschriebene Platinlampe, die durch einen Strom einer Grove'schen Batterie von fünf Zellen erhitzt wird. Diese Lampe muss den Tag hindurch vollkommen constant bleiben, und um dies zu erreichen, ist eine Tangentenbussole und ein Rheochord in den Kreis mit eingeschlossen.

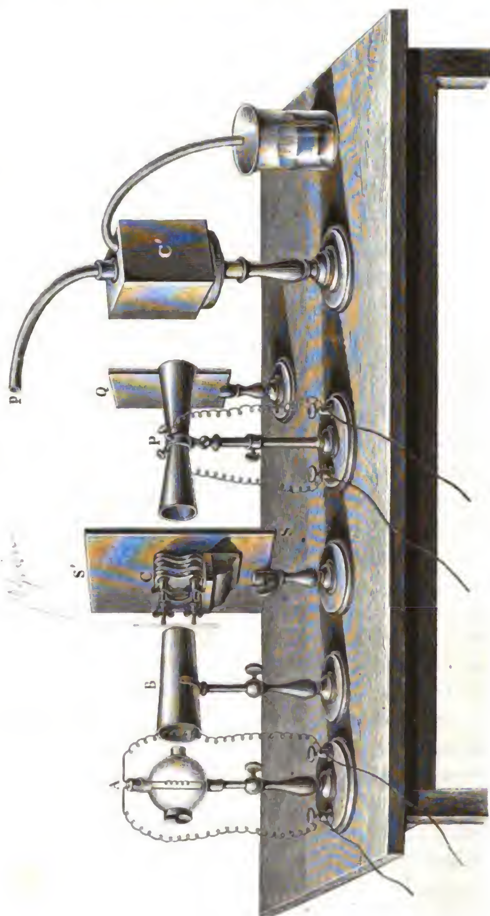


Fig. 102.

504. Vor der Spirale ist die Röhre *B* aufgestellt, deren innere Oberfläche als Reflector dient und durch die die Wärme nach der Steinsalzzelle *C* geht. Diese Zelle ist auf eine kleine Console gestellt, die an die Hinterwand des durchbohrten Schirmes *SS'* angelöthet ist, so dass die Wärme, nachdem sie durch die Zelle gegangen ist, durch das Loch in dem Schirm geht und dann auf die thermo-elektrische Säule *P* fällt. Die Säule ist in einiger Entfernung von dem Schirme *SS'* aufgestellt, so dass die Temperatur der Zelle *C* selbst nicht von Einfluss ist. *C'* ist der Compensationswürfel, der Wasser enthält, das durch den Dampfstrom von der Röhre *p* kochend erhalten wird. Zwischen dem Würfel *C'* und der Säule *P* steht der Schirm *Q*, der die auf die hintere Fläche der Säule fallende Wärmemenge regulirt. Hier ist die ganze Einrichtung unverhüllt aufgestellt; beim Gebrauch aber wird die Säule *P* und der Würfel *C'* sorgfältig gegen die capriciöse Wirkung der sie umgebenden Luft geschützt.

505. Die Versuche werden folgendermaassen gemacht. Nachdem die leere Steinsalzzelle *C* auf ihre Console gestellt ist, wird zuerst ein doppelter versilberter Schirm (auf der Zeichnung nicht angegeben) zwischen das Ende der Röhre *B* und die Zelle *C* gebracht; dadurch ist die Spirale vollständig abgeschnitten und die Säule der Wirkung des Würfels *C'* allein ausgesetzt. Mit Hülfe des Schirmes *Q* wird die Wärme, die die Säule von *C'* erhält, verändert, bis man die totale Wärme erhalten hat, die für die ganze Versuchsreihe benutzt werden soll; wir wollen annehmen, dieselbe bringe eine Ablenkung von 50 Grad am Galvanometer hervor. Der doppelte Schirm, der dazu diente, um die Ausstrahlung der Spirale aufzufangen, wird nun allmählich fortgezogen,

bis diese Ausstrahlung die des Würfels C' vollständig neutralisirt und die Nadel des Galvanometers ständig auf Null zeigt. Wenn die Stellung der doppelten Schirme einmal festgestellt ist, so bleibt sie weiterhin unverändert, da die geringe und langsame Veränderung der Wärmequelle durch den Rheochord neutralisirt wird. So fallen im Anfang die Strahlen der Spirale durch die leere Steinsalzzelle. Ein kleiner Trichter, der von einem Ständer getragen wird, taucht in die obere Oeffnung der Zelle, und durch diesen wird die Flüssigkeit eingefüllt. Der Eintritt der Flüssigkeit zerstört das vorher bestandene Gleichgewicht, die Nadel des Galvanometers bewegt sich und nimmt zuletzt eine ständige Ablenkung an. Aus dieser Ablenkung können wir sogleich die Wärmemenge berechnen, die von der Flüssigkeit absorbirt worden ist, und sie in Procenten der ganzen Ausstrahlung ausdrücken.

506. Die Versuche wurden mit elf verschiedenen Flüssigkeiten ausgeführt, von denen eine jede in fünf verschiedenen Dicken angewendet wurde. Die Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Absorption der Wärme durch Flüssigkeiten. Wärmequelle: Eine Platinspirale, die durch einen galvanischen Strom rothglühend gemacht worden ist.

Flüssigkeiten.	Dicke der Flüssigkeiten in Theilen eines Zolls.				
	0,02	0,04	0,07	0,14	0,27
Schwefelkohlenstoff	5,5	8,4	12,5	15,2	17,3
Chloroform	16,6	25,0	35,0	40,0	44,8
Methyljodid	36,1	46,5	53,2	65,2	68,6
Aethyljodid	38,2	50,7	59,0	69,0	71,5
Benzol	43,4	55,7	62,5	71,5	73,6
Amylen	58,3	65,2	73,6	77,7	82,3
Schwefeläther	63,3	73,5	76,1	78,6	85,2
Essigäther	—	74,0	78,0	82,0	86,1
Ameisenäther	65,2	76,3	79,0	84,0	87,0
Alkohol	67,3	78,6	83,6	85,3	89,1
Wasser	80,7	86,1	88,8	91,0	91,0

507. Wir finden hier, dass bei einer Dicke von 0,02 Zoll die Absorption von einem Minimum von 5,5 Proc. beim Schwefelkohlenstoff bis zu einem Maximum von 80,7 Proc. beim Wasser schwankt. Der Schwefelkohlenstoff lässt also 94,5 Proc. durch, während das Wasser — eine Flüssigkeit, die für das Licht ebenso durchsichtig ist — nur 19,3 Proc. der totalen Ausstrahlung durchlässt. Bei allen Dicken behauptet das Wasser, wie man beobachten kann, sein Uebergewicht. Nach ihm kommt als absorbirender Körper der Alkohol; ein Stoff, der ihm auch chemisch ähnlich ist.

508. Es ist somit gezeigt, dass diese Körper als Flüssigkeiten sehr verschiedene Fähigkeit besitzen, die von

unserer Strahlungsquelle ausgegebene Wärme aufzufangen; und wir müssen nun fragen, ob diese Unterschiede fortdauern, nachdem die Moleküle von den Fesseln der Cohäsion befreit worden sind. Wir müssen natürlich die Dämpfe durch Wellen von derselben Länge prüfen, wie die Flüssigkeiten, und dies erreichen wir leicht durch unsere Methode. Da die in einem Draht durch einen Strom von gegebener Stärke erzeugte Wärme unveränderlich ist, so war es nur nöthig, mit Hülfe der Tangentenbussole und des Rheochords den Strom von Tag zu Tag constant zu erhalten, um sowohl in Betreff der Menge als der Qualität eine unveränderliche Wärmequelle zu haben.

509. Die Flüssigkeiten, deren Dämpfe untersucht wurden, wurden, eine jede für sich, in kleine lange Flaschen gefüllt. Nachdem die Luft über und in der Flüssigkeit erst sorgfältig durch die Luftpumpe entfernt worden war, wurde die Flasche an der Versuchsröhre befestigt, in der die Dämpfe untersucht werden sollten. Diese Röhre war von Messing und hatte 49.6 Zoll Länge und 2,4 Zoll Durchmesser, ihre beiden Enden waren durch Steinsalzplatten geschlossen. Ihre innere Oberfläche war polirt. Die Einrichtung war dieselbe wie auf Tafel I, nur mit dem einzigen Unterschiede, dass die Wärmequelle eine rothglühende Platinspirale statt einer Kupferplatte war. Als beim Beginn jedes Versuchs die Messingröhre vollständig ausgepumpt und die Ausstrahlung der Spirale durch die des Compensationswürfels neutralisirt worden war, stand die Nadel auf Null. Der Hahn der Flasche mit der flüchtigen Flüssigkeit, wurde dann vorsichtig aufgedreht, und der Dampf konnte langsam in die Versuchsröhre eintreten. Wenn man den Druck von 0,05 Zoll erreicht hatte, wurde der Dampfzufluss abge-

schnitten und die permanente Ablenkung der Nadel notirt. Da wir die totale Wärme kennen, konnte die Absorption in Procenten der totalen Ausstrahlung direct aus der Ablenkung hergeleitet werden. Die folgende Tabelle enthält die Resultate:

Strahlung der Wärme durch Dampf. Wärmequelle: Rothglühende Platinspirale. Druck 0,5 Zoll.

	Absorption (Procente).
Schwefelkohlenstoff	4,7
Chloroform	6,5
Methyljodid	9,6
Aethyljodid	17,7
Benzol	20,6
Amylen	27,5
Alkohol	28,1
Ameisenäther	31,4
Schwefeläther	31,9
Essigäther	34,6
Totale Wärme	100,0

Wir sind nun im Stande, die Wirkung einer Reihe von flüchtigen Flüssigkeiten mit der des Dampfes dieser Flüssigkeiten auf strahlende Wärme zu vergleichen.

510. Wenn wir mit der Substanz von der geringsten absorbirenden Kraft anfangen und bis zur höchsten aufsteigen, finden wir die folgende Reihefolge:

Flüssigkeiten.	Dämpfe.
Schwefelkohlenstoff.	Schwefelkohlenstoff.
Chloroform.	Chloroform.
Methyljodid.	Methyljodid.
Aethyljodid.	Aethyljodid.
Benzol.	Benzol.
Amylen.	Amylen.
Schwefeläther.	Alkohol.
Essigäther.	Ameisenäther.
Ameisenäther.	Schwefeläther.
Alkohol.	Essigäther.
Wasser.	

511. Die Reihefolge der Absorption ist hier sowohl für die Flüssigkeiten, als auch für die Dämpfe bis zum Amylen, dieselbe. Aber, obwohl eine starke Absorption der Flüssigkeit im Allgemeinen mit einer starken Absorption durch den betreffenden Dampf parallel geht, so ist doch vom Amylen abwärts die Reihefolge beider nicht dieselbe. Es herrscht auch nicht der geringste Zweifel, dass Alkohol nächst Wasser der stärkste absorbirende Körper auf der Liste der Flüssigkeiten ist; aber es herrscht auch eben so wenig ein Zweifel darüber, dass die Stellung, die er auf der Liste der Dämpfe einnimmt, die richtige ist. Dies ist durch wiederholte Versuche bestätigt worden. Essigäther andererseits, obgleich er gewiss im Dampfzustande der stärkstabsorbirende Körper ist, bleibt im flüssigen Zustande weit hinter Ameisenäther und Alkohol zurück. Und doch meine ich, ist es unmöglich, diese Resultate zu überblicken und nicht zu der Schlussfolgerung zu kommen, dass die Absorption in der Hauptsache eine molekulare Wirkung ist, und dass die Moleküle ihre Kraft als absorbirende und ausstrahlende Körper behalten, wenn sie auch ihren Aggregatzustand verändern. Sollte indess noch irgend ein Zweifel über die Richtigkeit dieser Schlussfolgerung zurückgeblieben sein, so wird er schnell verschwinden.

512. Ein kurzes Nachdenken wird zeigen, dass die hier angeführte Vergleichung nicht richtig ist. Wir haben die Flüssigkeiten bei einer gemeinsamen Dicke und die Dämpfe bei einem gemeinsamen Volumen und Druck genommen. Wenn aber die angewendeten Flüssigkeitsschichten ganz in Dampf verwandelt wären, so würden die erhaltenen Volumen nicht dieselben sein. Daher sind die Mengen der Materie, die von der strahlenden Wärme durchstrahlt werden, einander in den beiden

Fällen weder gleich noch proportional, und um die Vergleichung exact zu machen, müssten sie einander proportional sein. Es ist natürlich leicht, dies zu erreichen; denn da die Flüssigkeiten bei einem constanten Volumen untersucht worden sind, so giebt uns ihre specifische Schwere die relative Menge der von der strahlenden Wärme durchstrahlten Materie; aus dieser letzteren und den Dampfdichten können wir sogleich die entsprechenden Dampfvolumen ableiten. Theilen wir in der That die specifische Schwere unserer Flüssigkeiten durch die Dichten ihrer Dämpfe, so erhalten wir die folgende Reihe von Dampfvolumen, deren Gewicht den Massen der angewendeten Flüssigkeit proportional ist.

Tabelle der proportionalen Volumen.

Schwefelkohlenstoff	0,48
Chloroform	0,36
Methyljodid	0,46
Aethyljodid	0,36
Benzol	0,32
Amylen	0,26
Alkohol	0,50
Schwefeläther	0,28
Ameisenäther	0,36
Essigäther	0,29
Wasser	1,60

513. Führen wir die Dämpfe in den hier angegebenen Volumen in die Versuchsröhre ein, so erhalten wir die folgenden Resultate:

Strahlung der Wärme durch Dämpfe. Dampfmenge der Flüssigkeitsmenge proportional.

Namen des Dampfes.	Druck in Theilen eines Zolles.	Absorption (Procente).
Schwefelkohlenstoff	0,48	4,3
Chloroform	0,36	6,6
Methyljodid	0,46	10,2
Aethyljodid	0,36	15,4
Benzol	0,32	16,8
Amylen	0,26	19,0
Schwefeläther	0,28	21,5
Essigäther	0,29	22,2
Ameisenäther	0,36	22,5
Alkohol	0,50	22,7

514. Stellen wir jetzt die Flüssigkeiten und Dämpfe in der Ordnung ihrer Absorption neben einander auf, so erhalten wir das folgende Resultat:

Flüssigkeiten.	Dämpfe.
Schwefelkohlenstoff.	Schwefelkohlenstoff.
Chloroform.	Chloroform.
Methyljodid.	Methyljodid.
Aethyljodid.	Aethyljodid.
Benzol.	Benzol.
Amylen.	Amylen.
Schwefeläther.	Schwefeläther.
Essigäther.	Essigäther.
Ameisenäther.	Ameisenäther.
Wasser.	*)

515. Hier verschwinden die Verschiedenheiten vollständig, die unsere früheren Versuchsreihen gezeigt haben, und es ist bewiesen, dass für Wärme derselben Qualität die Ordnung der Absorption für die Flüssigkeiten und

*) Nicht mit Luft gemischter Wasserdampf verdichtet sich so leicht, dass er in unserer Versuchsröhre nicht direct untersucht werden kann.

ihre Dämpfe dieselbe ist. Wir können daher mit Sicherheit schliessen, dass die Stellung des Dampfes als absorbirender und ausstrahlender Körper von der der Flüssigkeit bestimmt wird, aus der er gebildet ist. Geben wir die Gültigkeit dieses Schlusses zu, so bestimmt die Stellung des Wassers die des Wasserdampfes. Wir haben aber gefunden, dass für alle Dicken das Wasser die übrigen Flüssigkeiten in der Kraft seiner Absorption übertrifft. Wenn daher kein einziger Versuch für den Wasserdampf bestände, so würden wir doch genöthigt sein, aus dem Verhalten der Flüssigkeit zu schliessen, dass bei gleichem Gewicht der Wasserdampf alle übrigen Dämpfe in seiner absorbirenden Kraft überträfe. Fügen Sie hierzu die vielen und directen Versuche, durch die die Wirkung dieser Substanz auf strahlende Wärme festgestellt worden ist, so haben wir hoffentlich genügende Beweismittel vor uns, um diese Frage für immer zu erledigen und die Meteorologen zu bewegen, das Resultat unbedenklich auf die Erscheinungen ihrer Wissenschaft anzuwenden.

516. Wir müssen uns jetzt den Weg für die Betrachtung einer wichtigen Frage bahnen. Ein Pendel schwingt mit einer gewissen bestimmten Geschwindigkeit, die von der Länge des Pendels abhängt. Eine Feder wird mit einer Geschwindigkeit schwingen, die von dem Gewicht und der elastischen Kraft der Feder abhängt. Wenn wir einen Draht zu einer langen Spirale aufwickeln und am Ende eine Kugel befestigen, so wird die Kugel mit einer Geschwindigkeit auf- und abschwingen, die von ihrem Gewicht und von der Elasticität der Spirale abhängt. Eine Saite hat in gleicher Weise ihre bestimmte Schwingungsdauer, die von ihrer Länge, ihrem Gewicht und ihrer Spannung abhängt. Ein Balken, der eine Schlucht überbrückt, hat gleichfalls seine eigene Schwingungsdauer, und

wir können oft, wenn wir unsere Bewegungen nach denen des Balkens richten, die Anstösse so vermehren, dass wir seine Sicherheit gefährden. Soldaten schreiten unregelmässig, wenn sie über Pontonbrücken gehen, damit die den Pontons mitgetheilte Bewegung nicht bis zu einer gefährlichen Ausdehnung anwachse. Bisweilen stimmt der Schritt von Personen, die Wasser in offenen Gefässen auf ihrem Kopfe tragen, mit den Schwingungen des Wassers überein, das von einer Seite des Gefässes zur anderen schwankt, bis durch die Summirung der aufeinander folgenden Anstösse die Flüssigkeit zuletzt über den Rand strömt. Der Wasserträger wechselt instinktmässig den Schritt und bringt so die Flüssigkeit zu verhältnissmässiger Ruhe zurück. Diese gewöhnlichen mechanischen Thatsachen werden uns zu einem Einblick in die feineren Erscheinungen des Lichts und der strahlenden Wärme verhelfen. Sie haben wohl schon gehört, wie eine bestimmte Fensterscheibe bei einem bestimmten Ton einer Orgel mittönte; wenn Sie ein Klavier öffnen und hineinsingen, so wird ebenfalls eine Saite mittönen. Bei der Orgel tönt die Fensterscheibe mit, weil ihre Schwingungszeit zufällig mit der der Tonwellen zusammentraf, die auf sie fallen, und beim Klavier tönt diejenige Saite mit, deren Schwingungsdauer mit der der Stimmorgane des Sängers zusammenfällt. In beiden Fällen summiren sich die Wirkungen, wie wenn Sie auf der Balkenbrücke stehen und Ihre Anstösse mit ihrer Schwingungsdauer in Einklang bringen. Bei den schon besprochenen tönenden Flammen hatten Sie den analogen Einfluss in sehr überraschender Weise veranschaulicht gesehen. Sie antworteten der Stimme nur dann, wenn die Tonhöhe derselben ihrer eigenen entsprach. Ein höherer und ein tieferer Ton konnten beide die Flamme nicht in Bewegung setzen.

517. Ich habe Ihnen die Durchlässigkeit des Lampenrusses gezeigt und die noch wunderbarere Durchlässigkeit des Jods für die reinen Wärmestrahlen; und wir müssen nun fragen, warum Jod Licht auffängt und Wärme durchlässt. Der einzige Unterschied zwischen Licht und strahlender Wärme ist der der Schwingungsdauer. Die Wellen des einen sind kurz und wiederholen sich schnell, während die der anderen lang sind und sich langsam wiederholen. Die ersteren werden vom Jod aufgefangen und die letzteren durchgelassen. Warum? ich meine, es kann nur eine Antwort auf diese Frage geben: dass die aufgefangenen Wellen diejenigen sind, deren Schwingungen in derselben Zeit erfolgen, in der auch die Atome des aufgelösten Jods zu schwingen vermögen. Die Wellen übertragen ihre Bewegung den Molekülen, die mit ihnen gleiche Schwingungsdauer haben. Nehmen wir an, dass Wellen von irgend einer Dauer auf ein System von Molekülen von irgend einer anderen Schwingungszeit fallen, so steht wohl in der Physik fest, dass eine Erschütterung von grösserer oder geringerer Stärke sich unter den Molekülen erheben wird; damit aber die Bewegung sich vermehre, bis eine bemerkliche Absorption hervorgerufen wird, dazu ist eine Uebereinstimmung der Perioden nöthig. Kurz ausgedrückt ist also Durchlässigkeit mit Discord gleichbedeutend, während Undurchlässigkeit gleichbedeutend ist mit Accord zwischen den Perioden der Aetherwellen und denen der Moleküle der Körper, auf die sie fallen. Daher zeigt die Undurchsichtigkeit unserer Jodlösung für das Licht, dass ihre Atome fähig sind in allen Perioden zu schwingen, die in den Grenzen des sichtbaren Spectrums liegen, während ihre Durchlässigkeit für die jenseits des Roth liegenden

Schwingungen die Unfähigkeit ihrer Atome zeigt, in Einklang mit den längeren Wellen zu schwingen.

518. Der Ausdruck „Qualität“ in seiner Anwendung auf strahlende Wärme ist schon erklärt worden; die gewöhnliche Probe für die Qualität ist die Kraft der strahlenden Wärme, durch diathermane Körper zu gehen. Wenn die Wärme von zwei Quellen durch dieselbe Substanz in verschiedenen Mengen durchgelassen wird, so sagt man, die Strahlen sind von verschiedener Qualität. Eigentlich ist diese Frage der Qualität eine Frage der Schwingungsdauer; und wenn die Wärme der einen Quelle mehr oder weniger reichlich durchgelassen wird, als die Wärme einer anderen, so ist der Grund der, dass die von der einen Quelle erregten Aetherwellen in Länge und Dauer von denen der anderen verschieden sind. Erhöhen wir die Temperatur unserer Platinspirale, so verändern wir die Qualität ihrer Wärme. So wie die Temperatur erhöht wird, mischen sich immer kürzere und kürzere Wellen in die Ausstrahlung. Dr. Draper hat durch eine schöne Untersuchung gezeigt, dass, wenn Platin zu leuchten beginnt, es nur rothe Strahlen ausstrahlt; dass aber, so wie seine Temperatur zunimmt, sich orange, gelbe und grüne nach einander der Ausstrahlung hinzufügen; und dass, wenn das Platin so stark erhitzt wurde, dass es weisses Licht ausstrahlte, die Zerlegung dieses Lichts alle Farben des Sonnenspectrums gab.

519. Fast alle Dämpfe, die wir bisher untersucht haben, sind für das Licht durchsichtig, während alle in gewissem Grade für die dunklen Strahlen undurchlässig sind. Dieses beweist die Unfähigkeit der Moleküle dieser Dämpfe, in sichtbaren Perioden zu schwingen, und ihre Fähigkeit, in den langsameren Perioden der Wellen zu

schwingen, die jenseits des Roth des Spectrums fallen. Denken Sie sich nun, dass unsere Platinspirale allmählich von dem Zustande der dunkeln zu dem Zustande der leuchtenden Wärme aufsteigt, so würde hierdurch augenscheinlich eine Ungleichheit zwischen den Schwingungen des ausstrahlenden Platins und der Moleküle unserer Dämpfe hervorgerufen werden. Und je mehr wir die Temperatur des Platins erhöhen, desto entschiedener wird die Ungleichheit hervortreten. Wir könnten nun a priori schliessen, dass die Erhöhung der Temperatur der Platinspirale auch die Fähigkeit ihrer Strahlen vermehren müsste, durch unsere Dämpfe zu gehen. Dieser Schluss wird vollständig durch die in den folgenden Tabellen mitgetheilten Versuche bestätigt.

Strahlung durch Dämpfe. Wärmequelle: Eine Platinspirale, die kaum im Dunkeln sichtbar ist.

Name des Dampfes.	Absorption (Procente).
Schwefelkohlenstoff	6,5
Chloroform	9,1
Methyljodid	12,5
Aethyljodid	21,0
Benzol	25,4
Amylen	35,8
Schwefeläther	43,4
Ameisenäther	45,2
Essigäther	49,6

520 Mit derselben Spirale, die aber weissglühend gemacht worden war, wurden die folgenden Resultate erhalten:

Strahlung durch Dämpfe. Wärmequelle: Eine weissglühende Platinspirale.

Name des Dampfes.	Absorption (Procente).
Schwefelkohlenstoff	2,9
Chloroform	5,6
Methyljodid	7,8
Aethyljodid	12,8
Benzol	16,5
Amylen	22,6
Ameisenäther	25,1
Schwefeläther	25,9
Essigäther	27,2

521. Mit derselben Spirale, die ihrem Schmelzpunkt noch näher gebracht worden war, wurden mit vier Dämpfen folgende Resultate erhalten:

Strahlung durch Dämpfe. Wärmequelle: Eine Platinspirale bei intensiver Weissglühhitze.

Name des Dampfes.	Absorption.
Schwefelkohlenstoff	2,5
Chloroform	3,9
Ameisenäther	21,3
Schwefeläther	23,7

522. Wenn man die mit den verschiedenen Quellen erhaltenen Resultate neben einander stellt, so tritt der Einfluss der Temperatur auf die Durchlassung in sehr entschiedener Weise hervor:

Absorption der Wärme durch Dämpfe. Wärmequelle: Eine Platinspirale.

Name des Dampfes.	Kaum sichtbar.	Rothglühend.	Weissglühend.	Nahe dem Schmelzpunkt.
Schwefelkohlenstoff	6,5	4,7	2,9	2,5
Chloroform	9,1	6,3	5,6	3,9
Methyljodid	12,5	9,6	7,8	
Aethyljodid	21,3	17,7	12,8	
Benzol	26,4	20,6	16,5	
Amylen	35,8	27,5	22,7	
Schwefeläther	43,4	31,4	25,9	23,7
Ameisenäther	45,2	31,9	25,1	21,3
Essigäther	49,6	34,6	27,2	

523. Die allmähliche Vermehrung der durchdringenden Kraft mit der Erhöhung der Temperatur ist hier sehr augenscheinlich. Steigern wir die Wärme der Spirale von einer kaum sichtbaren zu einer intensiven Weissglühhitze, so reduciren wir die Absorption beim Schwefelkohlenstoff und dem Chloroform auf weniger als die Hälfte. Ueberdies gehen bei kaum sichtbarer Rothglühhitze 56,6 und 54,8 Procent durch Schwefel- und Ameisenäther, während von der intensiv weissglühenden Spirale 76,3 und 78,7 Procent durch dieselben Dämpfe gehen*). So führen wir, wenn wir die Temperatur des festen Platins erhöhen, Wellen von kürzeren Perioden in die Ausstrahlung ein, die mit den Perioden der Dämpfe im Discord sind und deshalb leichter durch sie hindurch gehen.

524. Ueberblicken wir die Zahlen, die die Absorptionen des Schwefel- und des Ameisenäthers in der letzten Tabelle ausdrücken, so finden wir, dass für die niedrigste Temperatur die Absorption des letzteren die des ersteren übertrifft; für die Rothglühhitze sind beide fast gleich, obgleich der Ameisenäther noch ein kleines Uebergewicht behält; bei der Weissglühhitze indess überwiegt der Schwefeläther, und bei der dem Schmelzpunkt nahen Temperatur ist sein Uebergewicht entschieden. Ich habe dieses Resultat auf die verschiedenste Art und durch vielfältige Versuche geprüft und es über allen Zweifel erhoben. Wir können sogleich aus ihm schliessen, dass die Fähigkeit der Moleküle des Ameisenäthers, in schnelle Schwingungen zu kommen, geringer ist, als die des Schwefeläthers, und so erhalten wir einen Blick in den

*) Die Durchlassung wird gefunden, wenn man die Absorption von Hundert abzieht.

inneren Zustand dieser Körper. Erhöhen wir die Temperatur der Spirale, so rufen wir Schwingungen von kürzerer Dauer hervor, und je mehr von diesen auftreten, desto undurchlässiger wird der Schwefeläther im Vergleich zum Ameisenäther. Das Atom Sauerstoff, das der Ameisenäther mehr besitzt als der Schwefeläther, macht ihn zu einem langsamer schwingenden Körper. Versuche mit einer Wärmequelle von 100° C. stellen das Uebergewicht des Ameisenäthers bei Schwingungen von längerer Dauer noch entschiedener fest.

Strahlung durch Dämpfe. Wärmequelle: Leslie'scher Würfel mit Lampenruss bedeckt. Temperatur 100° C.

Name des Dampfes.	Absorption (Procente).
Schwefelkohlenstoff	6,6
Methyljodid	18,8
Chloroform	21,6
Aethyljodid	29,0
Benzol	34,5
Amylen	47,1
Schwefeläther	54,1
Ameisenäther	60,4
Essigäther	69,9

Für Wärme, die diese Quelle ausstrahlt, ist die Absorption des Ameisenäthers um 6,3 Procent grösser, als die des Schwefeläthers.

525. Wir sehen aber noch einen anderen Fall der Umkehrung auf dieser Tabelle. Bei allen bisher angeführten Versuchen mit der Platinspirale hat sich das Chloroform als ein schwächer absorbirender Körper als das Methyljodid gezeigt; aber hier zeigt sich das Chloroform als der entschieden stärker wirkende Körper.

Dieses Resultat ist durch wiederholte Versuche ausser allen Zweifel gesetzt. Für die Ausstrahlung des auf 100° C. erwärmten Lampenrusses ist Chloroform entschieden undurchlässiger als Methyljodid.

526. Wir haben uns bisher mit der Ausstrahlung von erwärmten festen Körpern beschäftigt; ich will nun zu der Untersuchung der Ausstrahlung von Flammen übergehen. Die ersten Versuche wurden mit einem regelmässigen Gasstrom angestellt, der aus einem kleinen runden Brenner kam und dessen Flamme lang war und spitz zulief. Die Spitze und der untere Theil der Flamme wurden ausgeschlossen und nur ihr leuchtendster Theil als Wärmequelle benutzt. Ich erhielt die folgenden Resultate:

Strahlung der Wärme durch Dämpfe. Wärmequelle: Eine hellleuchtende Gasflamme.

Name des Dampfes.	Absorption.	Weissglühende Spirale.
Schwefelkohlenstoff	9,8	2,9
Chloroform	12,0	5,6
Methyljodid	16,5	7,8
Aethyljodid	19,5	12,8
Benzol	22,0	16,5
Amylen	30,2	22,7
Ameisenäther	34,6	25,9
Schwefeläther	35,7	25,1
Essigäther	38,7	27,2

527. Da es interessant ist, die von der weissglühenden Kohle ausgestrahlte Wärme mit der zu vergleichen, die das weissglühende Platin ausstrahlt, so habe ich, um diesen Vergleich zu erleichtern, neben den letzten Resultaten auf der Tabelle auch die einer früheren Beobachtungsreihe notirt. Es ist somit bewiesen, dass die

34*

Ausstrahlung der Flamme bei weitem stärker absorbirt wird, als die Ausstrahlung der Spirale. Indess geht ohne Zweifel die Kohle, ehe sie weissglühend wird, durch niedrigere Temperaturstufen hindurch und auf diesen Stufen strömt sie Wärme aus, die mehr mit unseren Dämpfen im Einklange steht. Sie ist auch mit Wasserdampf und Kohlensäure gemischt, die beide ihren Theil zur totalen Ausstrahlung beitragen. Es ist daher wahrscheinlich die grössere Absorption der von der Flamme ausgestrahlten Wärme den langsameren Schwingungen der Substanzen zuzuschreiben, die unfehlbar mit der weissglühenden Kohle gemischt sind, welcher die Flamme hauptsächlich ihr Licht verdankt.

528. Die dann angewandte Wärmequelle war die Flamme eines Bunsen'schen Brenners*), deren Temperatur bekanntlich sehr hoch ist. Die Flamme hatte eine blassblaue Farbe und strahlte ein sehr schwaches Licht aus. Die folgenden Resultate wurden erhalten:

Strahlung der Wärme durch Dämpfe. Wärmequelle: Die blassblaue Flamme eines Bunsen'schen Brenners.

Name des Dampfes.	Absorption.
Chloroform	6,2
Schwefelkohlenstoff	11,1
Aethyljodid	14,0
Benzol	17,9
Amylen	24,2
Schwefeläther	31,9
Ameisenäther	33,3
Essigäther	36,3

529. Die totale Wärme, welche von der Flamme des Bunsen'schen Brenners ausgestrahlt wird, ist bei weitem

*) Vergl. Kapitel II.

geringer als wenn sich weissglühende Kohle in der Flamme befindet. In dem Augenblick, wo sich die Luft mit der leuchtenden Flamme mischt, fällt die Ausstrahlung so bedeutend, dass die Abnahme sogleich entdeckt wird, selbst wenn man nur die Hand oder das Gesicht der Flamme nähert. Vergleichen wir die beiden letzten Tabellen, so sehen wir, dass die Ausstrahlung des Bunsen'schen Brenners im Ganzen weniger stark absorbirt wird, als die des leuchtenden Gasstrahls. In einigen Fällen, wie beim Ameisenäther, kommen sie sich sehr nahe; beim Amylen und einigen wenigen anderen Substanzen sind sie sehr verschieden. Es zeigt sich aber hier ein sehr interessanter Fall der Umkehrung. Schwefelkohlenstoff steht, anstatt über, entschieden unter Chloroform. Bei der leuchtenden Flamme verhält sich die Absorption durch Schwefelkohlenstoff zu der durch Chloroform wie 100 : 122, während bei der Flamme des Bunsen'schen Brenners das Verhältniss wie 100:56 ist; die relative Durchlässigkeit des Chloroforms wird durch das Entfernen der Kohle aus der Flamme mehr als verdoppelt. Wir haben hier noch ein anderes Beispiel der Umkehrung beim Ameisen- und Schwefeläther. Entschieden ist der Schwefeläther für die leuchtende Flamme am undurchlässigsten; für die Flamme des Bunsen'schen Brenners wird er an Undurchlässigkeit vom Ameisenäther übertroffen.

530. Ohne Zweifel sind die am meisten ausstrahlenden Körper in der Flamme eines Bunsen'schen Brenners Wasserdampf und Kohlensäure. Bedeutend erhitzter Stickstoff, der eine merkliche Wirkung hervorbringen kann, ist auch darin enthalten. Die Hauptquelle der Ausstrahlung ist aber ohne Zweifel der Wasserdampf und die Kohlensäure. Ich wünschte diese beiden Bestandtheile

getrennt von einander zu untersuchen. Ich konnte die Ausstrahlung von Wasserdampf durch eine Flamme von reinem Wasserstoff, die der Kohlensäure durch einen entzündeten Strahl von Kohlenoxyd erhalten. Die Ausstrahlung der Flamme des Wasserstoffs hatte für mich ein besonderes Interesse; denn trotz der hohen Temperatur einer solchen Flamme hielt ich es doch für wahrscheinlich, dass in Folge des Einklanges zwischen ihren Schwingungsperioden und denen des kalten Wasserdampfes der Atmosphäre der letztere eine besonders starke Absorption auf die Ausstrahlung ausüben würde. Die folgenden Versuche beweisen die Richtigkeit dieser Schlussfolgerung.

Strahlung durch atmosphärische Luft. Wärmequelle: Eine Wasserstoffflamme.

	Absorption.
Trockne Luft	0
Ungetrocknete Luft	17,2

So absorbirte in einer polirten Röhre von 4 Fuss Länge der Wasserdampf der Luft unseres Laboratoriums 17 Procent von der Ausstrahlung der Wasserstoffflamme. Als eine Platinspirale, die durch Elektricität einen nicht höheren Grad von Weissglühhitze erreicht hatte, als wenn man sie in die Wasserstoffflamme gesenkt hätte, als Wärmequelle benutzt wurde, fand es sich, dass die ungetrocknete Luft des Laboratoriums

5,8 Procent

ihrer Ausstrahlung absorbirte, oder ein Drittel der Menge, die bei Anwendung der Wasserstoffflamme absorbirt wurde.

531. Das Einsenken einer Spirale von Platindraht in die Flamme vermindert ihre Temperatur, führt aber zu derselben Zeit Schwingungen ein, die nicht im Einklange mit

denen des Wasserdampfes stehen; die Absorption der von dieser zusammengesetzten Quelle ausgestrahlten Wärme durch gewöhnliche ungetrocknete Luft stieg bis auf

8,6 Procent.

An feuchten Tagen übersteigt die Absorption der von der Wasserstoffflamme ausgehenden Strahlen die oben angeführte grosse Zahl. Mit derselben Versuchsröhre und einem neuen Brenner wurden die Versuche einige Tage später mit dem folgenden Resultate wiederholt:

Strahlung durch Luft. Wärmequelle: Wasserstoffflamme.

	Absorption.
Trockne Luft	0
Ungetrocknete Luft	20,3

532. Die physikalischen Ursachen der Durchlässigkeit und der Undurchlässigkeit sind schon angedeutet worden, und wir können aus der vorhergehenden kräftigen Wirkung des atmosphärischen Dampfes auf die Ausstrahlung der Wasserstoffflamme schliessen, dass ein Einklang zwischen den schwingenden Molekülen der Flamme bei einer Temperatur von 3259° C. und den Molekülen des Wasserdampfs bei 15,5° C. herrscht. Die ungeheure Temperatur der Wasserstoffflamme vermehrt die Weite, ändert aber nicht die Dauer der Schwingungen.

533. Wir müssen einen Augenblick bei dem hier benutzten Wort: „Weite" verweilen. Die Höhe eines Tons hängt allein von der Anzahl der Aetherwellen ab, welche das Ohr in einer Sekunde treffen. Die Stärke oder die Intensität eines Tons hängt ganz und gar nicht von der Schnelligkeit ab, mit der die Wellen einander folgen, sondern von der Weite des Weges, den die einzelnen Atome der Luft bei ihren Schwingungen zurück-

legen. Dieser Weg wird die Amplitude (Weite) der Schwingung genannt. Ziehen wir leise eine Harfensaite seitwärts und lassen sie wieder los, so wird die Luft nur wenig gestört; die Weite der schwingenden Luftatome ist klein und die Intensität des Tones schwach. Ziehen wir die Saite aber heftig seitwärts, so haben wir, wenn wir sie wieder loslassen, einen Ton von derselben Höhe wie vorher, da aber die Amplitude der Schwingung grösser ist, so ist der Ton intensiver. Während nun die Wellenlänge oder die Periode der Wiederkehr unabhängig von der Amplitude ist, so ist es die letztere, die die Stärke des Tons bestimmt.

534. Dasselbe gilt für Licht und strahlende Wärme. Hier schwingen die einzelnen Aethertheilchen hin und her, senkrecht gegen die Fortpflanzungsrichtung; und die Weite ihres Ausschlages wird die Amplitude der Schwingungen genannt. Wir können, wie beim Ton, dieselbe Wellenlänge mit sehr verschiedenen Amplituden haben, oder wie beim Wasser hohe und niedrige Wellen mit derselben Entfernung von Kamm zu Kamm. Wie nun die Farbe des Lichts und die Qualität der strahlenden Wärme ganz von der Länge der Aetherwellen abhängen, so wird die Intensität des Lichts und der Wärme durch die Amplitude bestimmt. Und da wir gesehen haben, dass die Schwingungsperioden der Wasserstoffflamme mit denen des kalten Wasserdampfs übereinstimmen, sind wir zu dem Schluss genöthigt, dass die äusserst hohe Temperatur der Flamme nicht der Schnelligkeit, sondern der ausserordentlichen Amplitude ihrer molekularen Schwingungen zuzuschreiben sei.

535. Die zweite Substanz, aus der die Flamme des Bunsen'schen Brenners zusammengesetzt ist, ist Kohlensäure, und die Ausstrahlung dieser Substanz wird direct

durch eine Flamme von Kohlenoxyd erhalten. Von der Ausstrahlung dieser Quelle absorbirt die kleine Menge von Kohlensäure, die in der Luft unseres Laboratoriums vertheilt ist, 13,8 Procent. Diese bedeutende Absorption beweist, dass die Schwingungen der Moleküle der Kohlensäure in der Flamme und der Kohlensäure in der Atmosphäre gleichzeitig sind. Die Temperatur der Flamme ist indess 3042° C., während die der Atmosphäre nur 15,5° C. ist. Wenn aber die hohe Temperatur unfähig ist, die Dauer der Schwingungen zu verändern, so können wir erwarten, dass Kohlensäure in grossen Mengen für die Ausstrahlung der Kohlenoxydflamme sehr undurchlässig sei. Hier folgen die Resultate der Versuche, durch welche diese Schlussfolgerung geprüft wurde.

Strahlung durch trockne Kohlensäure. Wärmequelle: Eine Kohlenoxydflamme.

Druck in Zollen.	Absorption.
1,0	48,0
2,0	55,5
3,0	60,3
4,0	65,1
5,0	68,6
10,0	74,3

Es zeigte sich, dass Kohlensäure für die Strahlen, die von den früher benutzten erwärmten festen Körpern ausgingen, eine sehr schwache Absorption besitzt; aber hier, wo die auf sie fallenden Strahlen von den Molekülen ihrer eigenen Substanz ausgehen, ist ihr Absorptionsvermögen ungemein gross. Der dreissigste Theil einer Atmosphäre dieses Gases absorbirt die Hälfte der totalen Ausstrahlung, während bei einem Drucke von 4 Zoll 65 Procent der Ausstrahlung aufgefangen werden.

536. Die Wirkung des ölbildenden Gases sowohl als absorbirender, wie auch als ausstrahlender Körper ist Ihnen wohl bekannt. Für die ersten Wärmequellen, von denen wir eben sprachen, ist seine Wirkung bedeutend grösser, als die der Kohlensäure; für die Ausstrahlung der Kohlenoxydflamme aber ist das Absorptionsvermögen des ölbildenden Gases klein, wenn es mit der der Kohlensäure verglichen wird. Dies wird durch die in der folgenden Tabelle angeführten Versuche bewiesen:

Strahlung durch trocknes ölbildendes Gas. Wärmequelle: Eine Kohlenoxydflamme.

Druck in Zollen.	Absorption.	Resultate der vorigen Tabelle.
1,0	23,2	48,0
2,0	34,7	55,5
3,0	44,0	60,3
4,0	50,6	65,1
5,0	55,1	68,6
10,0	65,5	74,3

537. Neben die Absorption durch ölbildendes Gas habe ich die durch Kohlensäure aus der letzten Tabelle gestellt. Die überwiegende Wirkung der Säure ist sehr entschieden bei geringem Druck; beim Druck eines Zolles ist sie die doppelte von der des ölbildenden Gases. Die Substanzen werden mit Zunahme der Gasmenge einander ähnlicher. In der That nähern sich beide hier der vollkommenen Undurchlässigkeit, und wie sie dieser gemeinsamen Grenze näher kommen, so nähern sich auch ganz naturgemäss ihre Absorptionen.

538. Diese Versuche beweisen, dass die Anwesenheit einer fast unmerklichen Menge von Kohlensäuregas durch seine Wirkung auf die Strahlen einer Kohlenoxydflamme entdeckt werden könnte. Die Wirkung ist z. B. sehr ent-

schieden bei der Kohlensäure, die durch die Lungen ausgeathmet wird. Ein Kautschukbeutel wurde mit dem Munde aufgeblasen; er enthielt daher den Wasserdampf und die Kohlensäure des Athems. Die Luft des Beutels wurde dann durch einen Trockenapparat geführt, die Feuchtigkeit also entfernt, und nun die neutrale Luft und die thätige Kohlensäure in die Versuchsröhre eingelassen. Die folgenden Resultate wurden erhalten:

Luft der Lungen, kohlensäurehaltig. Wärmequelle: Eine Kohlenoxydflamme.

Druck in Zollen.	Absorption.
1	12,0
3	25,0
5	33,3
30	50,0

539. So fing die mit der trocknen ausgeathmeten Luft angefüllte Röhre 50 Procent der totalen Ausstrahlung einer Kohlenoxydflamme auf. Es ist ganz entschieden, dass wir hier ein Mittel haben, um mit einer unübertroffenen Genauigkeit die Menge der Kohlensäure zu prüfen, die unter verschiedenen Umständen von den Lungen ausgeathmet wird.

540. Die Anwendbarkeit der strahlenden Wärme zur Bestimmung der Kohlensäure des Athems ist durch eine Reihe von Versuchen bewiesen worden, die unter meiner Leitung von meinem Assistenten Herrn Barrett gemacht worden sind. Zuerst wurde die Ablenkung bestimmt, die durch den von seiner Feuchtigkeit befreiten Athem hervorgerufen wurde. Künstlich bereitete Kohlensäure wurde sodann mit vollkommen trockner Luft gemischt, und zwar in solchem Verhältnisse, dass ihre Wirkung auf die strahlende Wärme dieselbe war, wie die der Kohlensäure aus

dem Athem. Da die Procente der ersteren bekannt waren, so gaben sie sogleich die der letzteren. Ich gebe hier die Resultate von drei chemischen Analysen, die von Dr. Frankland ausgeführt wurden, neben drei physikalischen Analysen meines Assistenten.

Procente der Kohlensäure im menschlichen Athem.

Durch chemische Analyse.	Durch physikalische Analyse.
4,311	4,00
4,66	4,56
5,33	5,22

541. Die Uebereinstimmung beider Resultate ist sehr befriedigend, und sicher wird bei grösserer Uebung eine noch genauere Uebereinstimmung erzielt werden können. Wir werden so in der Menge der ätherischen Bewegung, die die Kohlensäure zu zerstören vermag, ein genaues und brauchbares Maass für die von den menschlichen Lungen ausgeathmete Menge derselben finden.

542. Bei geringer Dicke ist Wasser eine sehr durchsichtige Substanz; d. h. die Schwingungsdauern seiner Moleküle sind nicht im Einklange mit denen des sichtbaren Spectrums. Es ist auch für die ultra-violetten Strahlen sehr durchsichtig, so dass wir sicher aus dem Verhalten dieser Substanz schliessen können, dass es unfähig ist, in schnelle molekulare Schwingungen zu kommen. Verlassen wir indess das sichtbare Spectrum und gehen zu den Strahlen jenseits des Roth über, so zeigt sich die Undurchlässigkeit dieser Substanz; in der That ist ihre absorbirende Kraft für solche Strahlen unerreicht. So ist die Gleichzeitigkeit der Schwingungen der Wassermoleküle mit denen der ultrarothen Wellen bewiesen. Wir haben schon gesehen, dass ungetrocknete atmosphärische Luft eine ausserordentliche Undurchlässigkeit für die Ausstrahlung einer Wasser-

stoffflamme zeigt, und aus diesem Verhalten schlossen wir auf den Synchronismus zwischen den Schwingungen des kalten Dampfes in der Luft und des warmen Dampfes in der Flamme. Wenn aber die Perioden eines Dampfes dieselben sind, wie die seiner Flüssigkeit, so müssen wir Wasser für die Ausstrahlung einer Wasserstoffflamme sehr undurchlässig finden. Hier sind die Resultate, die mit fünf verschiedenen Dicken der Flüssigkeit erhalten wurden.

Strahlung durch Wasser. Wärmequelle: Eine Wasserstoffflamme.

	Dicke der Flüssigkeit.				
	0,02 Zoll	0,04 Zoll	0,07 Zoll	0,14 Zoll	0,27 Zoll
Durchstrahlung (Procente)	5,8	2,8	1,1	0,5	0,0

543. Melloni fand, dass 11 Procent von der Wärme einer Argand'schen Lampe durch eine Wasserschicht von 0,36 Zoll Dicke hindurchgelassen wurden. Hier verwenden wir eine Quelle von höherer Temperatur und eine Schicht Wasser von nur 0,27 Zoll und finden, dass die ganze Wärme aufgefangen wird. Eine Schicht Wasser von 0,27 Zoll Dicke ist für die Ausstrahlung einer Wasserstoffflamme vollkommen undurchlässig, während eine Schicht von ungefähr ein Zehntel der Dicke, die Melloni angewandt hat, mehr als 97 Procent der ganzen Ausstrahlung absorbirt. Daraus können wir auf die Uebereinstimmung der Perioden zwischen kaltem Wasser und Wasserdampf schliessen, der auf eine Temperatur von 3259° C. erwärmt worden ist.

544. Von der Undurchlässigkeit des Wassers für die Ausstrahlung des Wasserdampfs können wir auf die Undurchlässigkeit des Wasserdampfs für die Ausstrahlung vom Wasser schliessen und daraus folgern, dass das

durch die Verdichtung des Wassers auf der Erdoberfläche bewirkte nächtliche Gefrieren der Erdausstrahlung den eigenthümlichen Charakter giebt, der sie besonders dazu befähigt, von unserer Atmosphäre aufgefangen und so verhindert zu werden, sich in den Raum zu zerstreuen.

545. Dieser Punkt verdient noch für einen Augenblick unsere Beobachtung. Ich fand, dass ölbildendes Gas in einer Röhre von 4 Fuss Länge ungefähr 80 Procent von der Ausstrahlung einer dunkeln Quelle absorbirt. Eine Schicht desselben Gases von 2 Zoll Dicke absorbirt 33 Proc., eine Schicht von 1 Zoll Dicke absorbirt 26 Proc., während eine Schicht von $^1/_{100}$ Zoll Dicke 2 Proc. der Ausstrahlung absorbirt. So nimmt die Absorption zu und die durchgelassene Menge nimmt ab, wenn die Dicke der gasförmigen Schicht vergrössert wird. Wir wollen nun auf einen Augenblick die Wirkung betrachten, die eine Schicht von ölbildendem Gase, die unseren Planeten in einer kleinen Entfernung über seiner Oberfläche umgäbe, auf die Temperatur unserer Erde haben würde. Das Gas würde für die Sonnenstrahlen durchsichtig sein, indem es sie, ohne merkliche Behinderung, die Erde erreichen liesse. Hier würde indess die leuchtende Sonnenwärme in nichtleuchtende irdische Wärme verwandelt werden; wenigstens 26 Procent dieser Wärme würden von einer Gasschicht von 1 Zoll Dicke aufgefangen und zum grossen Theil der Erde zurückgegeben werden. Unter einem solchen Ueberhange, so unbedeutend er auch erscheinen mag und so vollkommen durchsichtig er für das Auge ist, würde die Erdoberfläche in einer erstickenden Temperatur erhalten werden.

546. Vor einigen Jahren erschien ein Werk, welches sich durch Eleganz des Styls und Genialität gleich

auszeichnete und beweisen sollte, dass die entfernteren Planeten unseres Systems unbewohnbar seien. Indem man das Gesetz der umgekehrten Quadrate auf ihre Entfernung von der Sonne anwandte, fand man die Abnahme der Temperatur so bedeutend, dass man die Möglichkeit eines menschlichen Lebens auf den entfernteren Gliedern des Sonnensystems läugnen musste. Es wurde aber bei diesen Berechnungen der Einfluss einer atmosphärischen Umhüllung übersehen, und diese Vernachlässigung machte die ganze Beweisführung fehlerhaft. Es ist sehr möglich, dass man eine Atmosphäre finden könnte, die die Rolle eines „Widerhakens“ für die Sonnenstrahlen spielte, ihren Zugang zu dem Planeten gestattete, ihre Entfernung aber verhinderte. So würde z. B. eine Luftschicht von 2 Zoll Dicke, die mit Schwefelätherdampf gesättigt wäre, dem Durchgang der Sonnenstrahlen wenig Widerstand leisten; ich habe aber gefunden, dass sie volle 35 Procent der planetaren Ausstrahlung auffangen würde. Es würde keine besondere Verdickung der Dampfschicht nöthig sein, um ihre Absorption zu verdoppeln, und es ist vollkommen klar, dass mit einer schützenden Umhüllung dieser Art, die die Wärme eintreten lässt, ihren Austritt aber verhindert, eine sehr behagliche Temperatur auf der Oberfläche unserer entfernteren Planeten erhalten werden könnte.

547. Dr. Miller stellte zuerst die Ansicht auf, die auch ich für die richtige halte, dass die Schwingungsperioden einer Wasserstoffflamme dem Ultra-Roth entsprechen, und dass folglich, wenn ein Platindraht in eine Wasserstoffflamme getaucht und weissglühend gemacht wird, seine Schwingungsperioden von denen der Flamme, der er seine Weissglühhitze verdankt, verschieden sein müssen. Wir haben in diesem Falle eine

Umwandlung der unsichtbaren Perioden in sichtbare. Diese Verkürzung der Perioden muss den Unterschied zwischen der ausstrahlenden Quelle und unserer Flüssigkeitsreihe vergrössern, deren Perioden lang sind, und dadurch ihre Durchlässigkeit für die Ausstrahlung vermehren. Dieser Schluss wird durch folgende Versuche bestätigt:

Strahlung durch Flüssigkeiten. Wärmequellen: 1. Eine Wasserstoffflamme. 2. Eine Wasserstoffflamme mit einer Platinspirale.

Name der Flüssigkeit.	Durchlassung. Dicke der Flüssigkeit 0,04 Zoll. Flamme allein.	Dicke der Flüssigkeit 0,04 Zoll. Flamme und Spirale.	Dicke der Flüssigkeit 0,07 Zoll. Flamme allein.	Dicke der Flüssigkeit 0,07 Zoll. Flamme und Spirale.
Schwefelkohlenstoff	77,7	87,2	70,4	86,0
Chloroform	54,0	72,8	50,7	69,0
Methyljodid	31,6	42,4	26,2	36,2
Aethyljodid	30,3	36,8	24,2	32,6
Benzol	24,1	32,6	17,9	28,8
Amylen	14,9	25,8	12,4	24,3
Schwefeläther	13,1	22,6	8,1	22,0
Essigäther	10,1	18,3	6,6	18,5
Alkohol	9,4	14,7	5,8	12,3
Wasser	3,2	7,5	2,0	6,4

Es zeigt sich hier, dass die Durchlassung durch die Einführung des Platindrahtes bedeutend vermehrt wird.

548. Wir sind jetzt im Stande, die Antwort auf verschiedene Fragen zu geben, die bisher in den Untersuchungen über strahlende Wärme noch nicht gelöst waren. Eine Zeit lang wurde allgemein angenommen, dass die Kraft der Wärme, diathermane Substanzen zu durchdringen, zunähme, so wie die Temperatur der Wärmequelle höher würde. Knoblauch trat gegen diese Ansicht auf

und zeigte, dass die Wärme, die ein in eine Alkoholflamme gesenkter Platindraht ausstrahlt, durch gewisse diathermane Substanzen weniger absorbirt wird, als die Wärme der Flamme selbst, und schloss daraus mit Recht, dass die Temperatur der Spirale nicht höher sein könnte, als die des Körpers, von dem sie ihre Wärme bezöge. Als eine Scheibe von durchsichtigem Glas zwischen seine weissglühende Platinspirale und die thermo-elektrische Säule gebracht wurde, fiel die Ablenkung der Nadel von 35° auf 19°; während, wenn die Alkoholflamme ohne die Spirale als Wärmequelle diente, die Ablenkung von 35° auf 16° fiel. Dies bewies, dass die Ausstrahlung der Flamme stärker als die der Spirale aufgefangen wurde; oder, mit anderen Worten, dass die vom heissesten Körper ausgestrahlte Wärme die geringste durchdringende Kraft besässe. Melloni bestätigte später diesen Versuch.

549. Die Strahlen des sichtbaren Spectrums können frei durch durchsichtiges Glas gehen; man weiss aber, dass es für die Ausstrahlung von dunkeln Quellen oder für Wellen von langer Periode sehr undurchsichtig ist. Eine Scheibe von 0,1 Zoll Dicke fängt alle Strahlen einer Quelle von 100° C. auf und lässt nur 6 Procent der Wärme durch, die von 400° C. warmem Kupfer ausgestrahlt wird. Die Producte einer Alkoholflamme sind Wasserdampf und Kohlensäure, deren Wellen, wie wir bewiesen haben, eine kurze Schwingungsdauer besitzen, also gerade besonders geeignet sind, durch Glas kräftig aufgefangen zu werden. Tauchen wir aber einen Platindraht in eine solche Flamme, so verwandeln wir in der That ihre Wärme in eine Wärme von grösserer Brechbarkeit; wir verwandeln die langen Perioden in kürzere und stellen so den Discord zwischen den Perioden der Quelle und den Perioden des diathermanen Glases her, welcher, wie wir vorher erklärt ha-

ben, die physikalische Ursache der Durchlässigkeit ist. A priori könnten wir daher schliessen, dass die Einführung der Platinspirale die durchdringende Kraft der Wärme vermehren müsste. Mit einer Glasscheibe fand Melloni in der That die folgenden Durchlassungen für die Flamme und die Spirale:

Für die Flamme	Für das Platin
41,2	52,8

Dieselben Bemerkungen beziehen sich auf den von Melloni untersuchten durchsichtigen Selenit. Diese Substanz ist für die ultra-rothen Schwingungen sehr undurchlässig; die Ausstrahlung einer Alkoholflamme ist aber hauptsächlich ultra-roth, und daher kommt die Undurchlässigkeit des Selenits für diese Ausstrahlung. Die Einführung der Platinspirale verkürzt die Perioden und vermehrt die Durchlassung. So fand Melloni mit einem Stücke Selenit folgende Durchlassungen:

Flamme	Platin
4,4	19,5

550. Soweit stimmen die Resultate Melloni's mit denen des Herrn Knoblauch überein; der italienische Naturforscher geht aber in der Sache weiter und zeigt, dass, obgleich die Resultate des Herrn Knoblauch für die besondern, von ihm untersuchten Substanzen richtig sind, sie doch nicht für alle diathermanen Mittel zutreffen. Melloni weist nach, dass sich beim schwarzen Glase und beim schwarzen Glimmer eine auffallende Umkehrung der Wirkung zeigt; durch diese Substanzen wird die Ausstrahlung der Flamme reichlicher als die des Platins durchgelassen. Er fand folgende Durchlassungen für schwarzes Glas:

Von der Flamme	Von dem Platin
52,6	42,8

und für eine Scheibe von schwarzem Glimmer:

Von der Flamme	Von dem Platin
62,8	52,5

551. Diese Resultate wurden von Melloni noch nicht erklärt, aber ihre Begründung ist jetzt leicht. Das schwarze Glas und der schwarze Glimmer verdanken ihre Schwärze der in ihnen vertheilten Kohle, und die Undurchsichtigkeit dieser Substanz für das Licht beweist, wie schon bemerkt, den Einklang ihrer Schwingungsdauern mit denen des sichtbaren Spectrums. Es ist aber gezeigt worden, dass Kohle in einem bedeutenden Grade für die Wellen von langer Dauer durchdringlich ist; d. h. für solche Wellen, die von einer Alkoholflamme ausgestrahlt werden. Die Kohle ist daher dem durchsichtigen Glase vollständig entgegengesetzt, da die erstere die Wärme von langer und das letztere die von kurzer Schwingungsdauer am leichtesten durchlässt. Daher kommt es, dass die Einführung des Platindrahtes, wodurch die langdauernden Schwingungen der Flamme in kurze verwandelt werden, die Durchlassung durch das durchsichtige Glas und den Selenit vermehrt und durch das undurchsichtige Glas und den Glimmer vermindert.

Anhang zum zwölften Kapitel.

Ueber Calorescenz.

§. 1. In demselben Bande der Philosophical Transactions, welcher den berühmten Brief von Volta an Sir Joseph Banks über die Contactelektricität enthält, veröffentlichte im Jahre 1800 Sir William Herschel seine Entdeckung der unsichtbaren Sonnenstrahlen. Er brachte Thermometer in die verschieden gefärbten Theile des Sonnenspectrums und bestimmte so ihre erwärmende Kraft. Er fand, dass dieselbe keineswegs an dem rothen Ende des Spectrums aufhört, sondern im Gegentheil jenseit desselben ihr Maximum erreicht. Der Versuch bewies, dass die Sonne ausser leuchtenden Strahlen auch noch andere Strahlen von geringerer Brechbarkeit aussendet, die zwar durch das Auge nicht wahrgenommen werden, aber eine bedeutende erwärmende Kraft besitzen.

Stellt Linie $A\,E$ die Länge des Spectrums dar und errichten wir auf derselben an verschiedenen Stellen Lothe, welche die Wärmewirkung der einzelnen Theile des Spectrums angeben, so bezeichnet die, die Gipfelpunkte dieser Lothe verbindende Curve (Fig. 103) die Vertheilung der Wärme im Sonnenspectrum nach Herschel's Versuchen. Die Fläche $A\,B\,D$ stellt den unsichtbaren, die Fläche $D\,B\,E$ den sichtbaren Theil der Sonnenstrahlen dar. Mit einem vollkommneren Apparat bestimmte später Professor Müller in Freiburg *) die Vertheilung der Wärme im Spectrum, welche hier-

*) Auf Wunsch des Herrn Verfassers ist diese Abhandlung (Philos. Magazine May June 1866) an Stelle der im Original enthaltenen „Ueber

nach durch Fig. 104 dargestellt wird, in welcher *ABCD* die unsichtbare, *CDE* die sichtbare Strahlung darstellt.

Fig. 103.

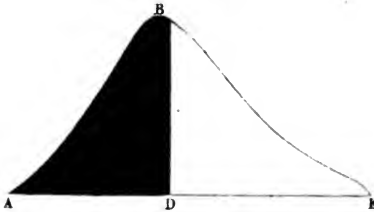
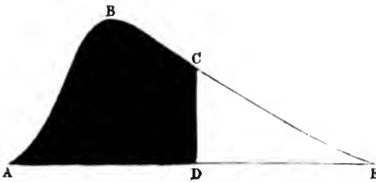


Fig. 104.



Alle irdischen Wärmequellen senden gleichfalls dunkle Strahlen aus. So beträgt der dunkle Theil der Ausstrahlung einer Oelflamme 90 Proc., der des weissglühenden Platins 98 Proc., der einer Alkoholflamme 99 Proc. der gesammten Strahlung. Der sichtbare Theil der Strahlen einer Wasserstoffflamme ist so klein, dass er sich der Messung entzieht. Werden feste Körper allmählich von der Dunkelheit zu immer

---

leuchtende und dunkle Strahlung" (Philos. Magazine Nov. 1864; Poggendorff's Annalen Band 124 Seite 36) mit einigen Abkürzungen hier eingefügt worden.

G. Wiedemann.

lebhafterem Glühen erhitzt, so werden die Anfangs ausgesendeten unsichtbaren Strahlen auch in den späteren Perioden des Glühens, nur mit vermehrter Intensität ausgestrahlt. So kann man durch einen schwachen galvanischen Strom die Kohlenspitzen der elektrischen Lampe erwärmen, dass sie unsichtbare Wärmestrahlen ausgeben. Steigert man die Intensität des Stromes aber so weit, dass zwischen den Kohlenspitzen das elektrische Licht entsteht, so wächst diese Strahlung bis über das Tausendfache. Hier wächst übrigens die leuchtende und nichtleuchtende Strahlung gleichzeitig; das Maximum der Helligkeit der sichtbaren Strahlen fällt mit dem Maximum der Wärmewirkung der unsichtbaren Strahlen zusammen.

In den letzten 10 bis 12 Jahren habe ich viele Versuche über die unsichtbaren Strahlen des elektrischen Lichtes angestellt und sie endlich einer genaueren Untersuchung unterzogen, deren Resultate ich hier mittheile. Ich will zuerst die sichtbare und unsichtbare Strahlung des elektrischen Lichtes in Bezug auf ihre Intensität mit einander vergleichen, sodann eine Methode zur Trennung der leuchtenden und nichtleuchtenden Strahlen angeben und endlich verschiedene Versuche über die erwärmende Kraft der unsichtbaren Strahlen und die Veränderungen anführen, denen sie unterworfen werden können.

§. 2. Bei der vorher erwähnten Untersuchung benutzte Professor Müller eine von Melloni zu derartigen Versuchen angegebene thermo-elektrische Säule. Ein ähnliches von Herrn Ruhmkorff construirtes Instrument wurde auch mir durch meinen Freund Gassiot während mehrerer Jahre zur Disposition gestellt. Es besteht aus einem doppelten Metallschirme, der in der Mitte durch eine rechteckige Oeffnung durchbrochen ist, hinter welcher eine einzige Reihe von thermo-elektrischen Elementen von je 1,2 Zoll Länge befestigt ist. An dem Schirme sind zwei verschiebbare Leisten angebracht, welche vor- und zurückgeschoben werden können, so dass man dadurch die Breite der den Wärmestrahlen ausgesetzten Vorderfläche der Thermosäule von Null bis auf $^1/_{10}$ Zoll verändern kann. Das Instrument steht auf einem Schlitten von Metall, welcher vermittelst einer, durch eine Kurbel drehbaren Schraube

hin- und herbewegt werden kann (vgl. Fig. 76 §. 309). Ein Spectrum, dessen Breite der Länge der Thermosäule gleich ist, wird auf den Schirm projicirt. Dreht man nun die Kurbel, so kann man die verticale Vorderfläche der Säule durch die verschiedenen Farben und die dunklen Räume zu ihren beiden Seiten rechts und links hindurchführen.

Um ein constantes Spectrum des elektrischen Lichtes zu erzeugen, bediente ich mich des von Duboscq gearbeiteten Regulators des Herrn Foucault, der ein bewundernswerth gleichmässiges Licht liefert. Ich hatte sodann von Herrn Becker ein vollständiges System von Steinsalzlinsen und Prismen verfertigen lassen und dasselbe in folgender Weise angeordnet: In die vordere Oeffnung der, die elektrische Lampe umgebenden Kammer wurde eine Linse von durchsichtigem Bergkrystall eingesetzt, um die von den Kohlenspitzen ausgehenden divergirenden Strahlen parallel zu machen. Dieselben gingen sodann durch einen schmalen Spalt, vor dem eine zweite Bergkrystalllinse stand, die ein deutliches (etwa 0,1 Zoll breites) Bild des Spaltes in derselben Entfernung entwarf, in welcher das Spectrum erscheinen sollte. Dicht hinter diese Linse wurde ein, zuweilen auch zwei Prismen von klarem Steinsalz aufgestellt. Der Lichtstrahl wurde zerlegt und ein glänzendes horizontales Spectrum auf dem Schirm entworfen, der die thermo-elektrische Säule trug. Wurde die schon erwähnte Kurbel gedreht, so durchlief die Vorderfläche der Säule das Spectrum, und ein sehr schmaler (0,03 Zoll breiter) Streif von Licht- oder Wärmestrahlen traf dieselbe an jeder Stelle. Ein empfindliches Galvanometer, welches mit der Säule verbunden war, gestattete durch die Ablenkung seiner Nadel, die erwärmende Kraft sowohl der sichtbaren wie der unsichtbaren Theile des Spectrums zu bestimmen.

Die Thermosäule wurde in doppelter Weise verschoben. Bei den ersten Versuchen wurde dieselbe in das violette Ende des Spectrums gebracht, wo die Wärme unmerklich war, dann durch die Farben hindurch bis zum Roth, und über das Roth hinaus bis zu der Stelle der grössten Erwärmung geschoben, und über diese hinaus, bis die Wärme des unsicht-

baren Theiles des Spectrums allmählich verschwand. Die folgende Tabelle enthält eine Reihe von derartigen Beobachtungsresultaten. Die Bewegung der Säule ist in denselben in Umdrehungen der Kurbel angegeben, von denen eine jede einer Verschiebung der Vorderfläche der Säule um 1 Millimeter ($^1/_{25}$ Zoll) entspricht. Anfangs, wo die Zunahme der Wärme langsam und gleichmässig stattfand, wurde eine Ablesung der Galvanometernadel nach je zwei Umdrehungen der Kurbel gemacht; jenseits des Roth, wo die Wärme plötzlich zunimmt, nach je einer halben Umdrehung und in der Nähe des Maximums, wo die Aenderungen am bedeutendsten sind, nach je einer viertel Umdrehung, also nach einer Verschiebung der Säule um $^1/_{100}$ Zoll. Dann wurde die Verschiebung wieder jedesmal durch eine und zwei Umdrehungen bewirkt, bis die erwärmende Kraft unmerklich wurde. Die Ablenkungen der Nadel wurden auf die Ablenkung derselben um einen Grad von der Nulllage an als Einheit reducirt und die so erhaltenen Werthe in der ersten Columne der folgenden Tabelle verzeichnet.

Setzt man das Maximum der Wärmewirkung im Spectrum gleich 100, so ergiebt sich die in der zweiten Columne der Tabelle angegebene Wärme der übrigen Theile des Spectrums durch Multiplication obiger Werthe mit 1,37.

Tabelle I. Vertheilung der Wärme im Spectrum des elektrischen Lichtes.

Stellung der Säule.	Werth der Ablenkung.	Intensität der Erwärmung; das Maximum = 100
Im Blau	0,0	0,0
Nach 2 Drehungen der Kurbel (Anfang des Grün)	1,5	2,0
„ „ „ „ „	3,5	4,8
„ „ „ „ „	5,5	7,5
„ „ „ „ „ (Anfang des Roth)	15,5	21,0
„ „ „ „ „ (Aeusserstes Roth)	32,6	44,6
Nach ½ Drehung der Kurbel	44,0	60,0
„ „ „ „ „	54,0	74
„ „ „ „ „	62,0	85
„ „ „ „ „	70,0	95,8
„ „ „ „ „	72,5	99
Nach ¼ Drehung der Kurbel (Maximum)	73,0	100,0
„ „ „ „ „	70,8	97,0
Nach ½ Drehung der Kurbel	57,0	78,0
„ „ „ „ „	45,5	62,0
„ „ „ „ „	32,6	44,5

Stellung der Säule.	Werth der Ablenkung.	Intensität der Erwärmung; das Maximum = 100.
Nach ½ Drehung der Kurbel	26,0	35,6
Nach 2 Drehungen der Kurbel	10,5	14,4
" " " " "	6,5	9
" " " " "	5,0	6,8
" " " " "	3,5	5
" " " " "	2,5	3,4
" " " " "	1,7	2,3
" " " " "	1,3	1,8

Bei der zweiten Versuchsreihe wurde die Säule erst an die Stelle des Wärmemaximums gebracht und dann nach dem einen Ende des Spectrums verschoben. Sie wurde sodann auf das Maximum zurückgebracht und nach der entgegengesetzten Richtung weiter verschoben. Gewöhnlich zeigte sich ein kleiner Unterschied zwischen den beiden Maximis, da sich wohl das elektrische Licht während der Dauer der Beobachtungen ein wenig geändert hatte. Die folgende Tabelle giebt die erhaltenen Resultate, wobei wiederum das Maximum gleich 100 gesetzt ist.

Tabelle II. Vertheilung der Wärme im Spectrum des elektrischen Lichtes.

Stellung der Säule.	Intensität der Wärme; das Maximum = 100.
Maximum	100
Nach einer Drehung der Kurbel gegen das sichtbare Spectrum hin	94,4
" " " " " " " " " "	65,5
" " " " " " " " " "	42,6
" " " " " " " " (äusserstes Roth)	28,3
" " " " " " " " " "	20,0
" " " " " " " " " "	14,8
" " " " " " " " " "	11,1
Nach zwei Drehungen in gleicher Richtung (Grenze des Grün)	7,4
" " " " " "	4,6
" " " " " "	2,0
" " " " " " (im Blau)	0,9
Die Säule zurück auf das Maximum	100
Nach einer Drehung vom sichtbaren Spectrum fort	67,1
" " " " " " "	41,0
" " " " " " "	23,0
" " " " " " "	13,0
" " " " " " "	9,4
Nach zwei Drehungen in derselben Richtung	5,0
" " " " " "	3,4
" " " " " "	0,0

Ich machte mehr als ein Dutzend solcher Beobachtungsreihen, von denen jede ihre besondere Curve ergab. Als indess

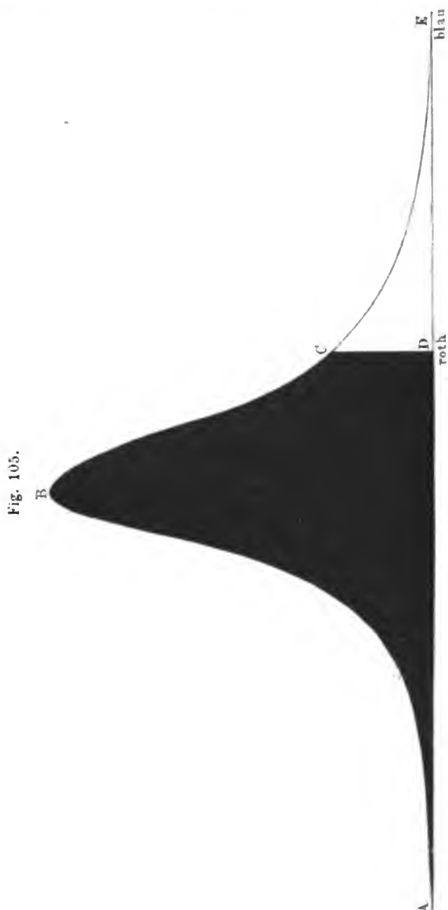


Fig. 103.

die einzelnen Curven übereinander gelegt wurden, zeigte sich eine sehr nahe Uebereinstimmung zwischen ihnen. Die Curve (Fig. 105) stellt als Mittel derselben die Vertheilung der Wärme im Spectrum des durch 50 Grove'sche Elemente erzeugten elektrischen Lichtes mit grosser Annäherung dar. Die Fläche *ABCD* entspricht der unsichtbaren, die Fläche *CDE* der sichtbaren Strahlung. Wir sehen hier, wie die Wärmewirkung allmählich von dem blauen Ende des Spectrums bis zum rothen zunimmt. Aber in der Gegend der dunklen Strahlen jenseits des Roth steigt plötzlich die Curve steil zu einem Gipfel an, gegen den der Theil der Figur, welche der sichtbaren Strahlung entspricht, bedeutend zurücktritt *).

---

*) Wie sollen wir uns die schwingenden Atome vorstellen, welche verschiedene Wellenlängen im Spectrum hervorbringen? Entspricht die unendliche Zahl der letzteren zwischen den äussersten Enden des Spectrums auch einer unendlichen Anzahl von Atomen, von denen ein jedes eine besondere Oscillationsdauer hat, oder sollen wir uns vorstellen, dass die Atome gleichzeitig verschieden schnell schwingen können? Pflanzt sich ein Ton und seine Octave gleichzeitig durch dieselbe Luftmasse fort, so ist die resultirende Bewegung derselben gleich der algebraischen Summe der beiden besonderen, ihr mitgetheilten Bewegungen. Das Ohr zerlegt diese Bewegung in ihre beiden Componenten (Helmholtz, Tonempfindungen S. 54); und doch können wir uns nicht denken, dass hier einzelne Lufttheilchen den einen, andere Theilchen den anderen Ton fortpflanzen. Sollte nicht für den Aether dasselbe gelten, wie für die Luft, und sollte nicht ein einzelnes Atom, dessen Bewegungen in den festen Körpern durch die anstossenden Nachbaratome beeinflusst und bestimmt werden, dem Aether eine Bewegung mittheilen können, die der Summe der Bewegungen verschiedener Atome entspräche, von denen ein jedes eine besondere Schwingungsdauer besässe.

Es ist vielleicht beachtenswerth, dass für alle festen Körper von derselben Temperatur eine bestimmte Schwingungsdauer zu bestehen scheint, bei der die lebendige Kraft ihrer Atome am grössten ist. Wenden wir statt des elektrischen Lichtes das Drummond'sche Kalklicht oder einen durch einen galvanischen Strom zum Weissglühen erhitzten Platindraht an, so entspricht bei allen der Gipfelpunkt der Wärmevertheilungscurve (*B*, Fig. 105) sehr nahe, wenn nicht ganz vollständig, derselben Brechbarkeit. Es scheinen also bei einer bestimmten Oscillationsdauer die Atome erhitzter fester Körper mit grösserer lebendiger Kraft zu schwingen, als bei anderen Schwingungsdauern. Dieselbe entspricht unsichtbaren Schwingungen, welche etwa ebenso weit von dem äussersten Roth gegen die unsichtbare Seite des Spectrums hin entfernt sind, wie der Anfang des Grün auf der sichtbaren Seite.

Die Sonnenstrahlen müssen, ehe sie die Erde treffen, durch unsere Atmosphäre hindurchgehen, in welcher sie dem Wasserdampf begegnen, der eine bedeutende Absorption auf die unsichtbaren Strahlen ausübt. Hieraus würde unabhängig von anderen Betrachtungen folgen, dass bei der Sonne das Verhältniss der unsichtbaren zu den sichtbaren Strahlen kleiner sein müsste, als beim elektrischen Licht. In der That rechtfertigt der Versuch diesen Schluss; während nach Fig. 104 die unsichtbare Strahlung der Sonne etwa das Doppelte der sichtbaren ist, beträgt nach Fig. 105 die unsichtbare Strahlung des elektrischen Lichtes nahezu das Achtfache der unsichtbaren.

Lassen wir das Licht der elektrischen Lampe durch eine genügend dicke Schicht Wasser hindurchgehen, so beobachten wir ihre Strahlung nahezu unter denselben Bedingungen, wie die der Sonne; zerlegen wir das elektrische Licht, nachdem es so „abgesiebt" ist, so erhalten wir in dem Spectrum eine Wärmevertheilung, die der im Sonnenspectrum sehr ähnlich ist.

Die Curve der Wärmevertheilung im elektrischen Spectrum fällt am steilsten auf der vom Roth entferntesten Seite desselben ab. Auf beiden Seiten beobachten wir indess einen continuirlichen Abfall. Ich habe viele Versuche gemacht, um zu untersuchen, ob die Continuität des Wärmespectrums irgendwie unterbrochen ist; aber alle bisher mit künstlichen Wärmequellen angestellten Messungen zeigen eine allmähliche und continuirliche Zunahme der Wärme von dem Punkte an, wo sie gerade bemerkbar wird, bis zu dem Maximum. Sir John Herschel hat gezeigt, dass dies bei der Zerlegung der Sonnenstrahlen durch ein Flintglasprisma nicht mehr stattfindet. Er liess das Sonnenspectrum auf einen mit Alkohol befeuchteten schwarzen Papierstreifen fallen und bestimmte durch die Zeit des Trocknens desselben die Wärmewirkung des Spectrums. Er fand, dass die nasse Oberfläche in einer Reihe von Flecken trocknete, die Wärmemaxima darstellten, welche von einander durch Räume von verhältnissmässig geringer Wärmeintensität getrennt waren. Weder in dem Spectrum des elektrischen Lichts noch in dem eines durch einen galvanischen

Strom zur Weissgluth erhitzten Platindrahtes konnten solche Maxima oder Minima beobachtet werden. Es wurden Prismen und Linsen von Steinsalz, Crownglas und Flintglas hierbei benutzt. Bei späteren Versuchen liess man den zu analysirenden Strahl durch verschieden dicke Schichten von Wasser und anderen Flüssigkeiten fallen. Auch wurden verschiedene Gase und Dämpfe in den Weg des Strahles eingeführt. In allen Fällen trat eine allgemeine Abnahme der Wärmewirkung ein, der Abfall der Curve auf beiden Seiten des Maximums war aber continuirlich *).

§. 3. Die Strahlen einer dunklen Quelle kommen in ihrer Intensität den dunklen Strahlen einer leuchtenden Quelle niemals gleich. Ein Körper, der nicht bis zur Weissglühhitze erwärmt ist, kann niemals Strahlen von einer Intensität ausgeben, die denen der Maximalregion des elektrischen Spectrums vergleichbar wäre.

Wollen wir daher intensive Wärmewirkungen durch unsichtbare Strahlen erzeugen, so müssen wir solche wählen, die von einer intensiv leuchtenden Quelle ausgestrahlt werden. Dann wirft sich die Frage auf, wie können die unsichtbaren Wärmestrahlen von den sichtbaren isolirt werden. Man braucht nur einen undurchsichtigen Schirm vor den sichtbaren Theil des Spectrums des elektrischen Lichtes zu stellen, um die unsichtbaren Wärmestrahlen allein zu erhalten und mit ihnen nach Belieben zu arbeiten. So verfuhr Sir William Herschel, als er die unsichtbaren Sonnenstrahlen durch Vereinigung mittelst einer Linse sichtbar zu machen versuchte. Um aber ein Spectrum zu bilden, in dem die unsichtbaren Strahlen gänzlich von den sichtbaren getrennt sind, muss man einen engen Spalt oder eine kleine Oeffnung anwenden; in Folge dessen ist die Wärmemenge sehr klein, die man durch das Prisma absondern kann. Wollen wir die Wirkung stark concentrirter unsichtbarer Strahlen untersuchen, so müssen wir eine andere Methode finden, um sie von ihren sichtbaren Begleitern zu trennen. Wir müssen eine Substanz entdecken, die die zu-

*) Ich hoffe, diese Frage später einer genaueren Untersuchung unterwerfen zu können.

sammengesetzte Ausstrahlung einer leuchtenden Quelle sichten kann, indem sie die sichtbaren Strahlen zurückhält und nur den unsichtbaren freien Durchgang gestattet.

Könnten wir einen ganz homogenen, in allen Theilen optisch continuirlichen einfachen schwarzen Körper darstellen, so möchte ich nach früheren Versuchen schliessen, dass derselbe die sichtbaren Strahlen der Sonne und des elektrischen Lichtes zurückhalten und die unsichtbaren hindurchlassen würde. Kohle in der Gestalt von Russ ist schwarz, aber seine Theile bilden nicht ein optisch continuirliches Medium. Schwarzes Glas besitzt eine viel vollkommenere Continuität und daher lässt es nach Melloni's Versuchen Wärmestrahlen in bedeutendem Grade hindurch. Das Gold im Rubinglase oder in dem von Faraday dargestellten gelatinösen Zustand ist für die Wärmestrahlen bedeutend durchlässig, aber nicht schwarz genug, um die sichtbaren Strahlen völlig aufzufangen. Das tief braune flüssige Brom ist für unseren Zweck geeigneter; es zeigt in so dicken Schichten, dass sie das Licht unserer hellsten Flammen nicht hindurchlassen, eine bedeutend grosse Diathermanität. Jod können wir für sich in flüssigem Zustande nicht anwenden, aber es löst sich leicht in verschiedenen Flüssigkeiten, zuweilen mit einer tief dunklen Farbe. Hier könnte indess die Wirkung des einfachen Körpers durch die des Lösungsmittels verdeckt werden. So geschieht es z. B. bei der Lösung von Jod in Alkohol, welcher letztere die ultrarothen Strahlen so völlig auffängt, dass die Lösung für Versuche völlig ungeeignet wäre, bei denen man die dunklen Strahlen erhalten und nur die sichtbaren abfangen will. Aehnlich verhält es sich bei vielen anderen Lösungsmitteln für Jod.

Das Verhalten des Schwefelkohlenstoffs, sowohl im flüssigen wie im dampfförmigen Zustande, lässt denselben als ein sehr geeignetes Lösungsmittel erscheinen. Er ist äusserst diatherman und löst mehr Jod auf, wie irgend eine andere Substanz. Nach früheren Versuchen gehen von den Strahlen einer rothglühenden Platinspirale 94,5 Proc. durch eine 0,02 Zoll dicke Schicht, 87,5 und 82,5 Proc. durch eine 0,07 und 0,27 Zoll dicke Schicht desselben.

Der folgende Versuch zeigt das Verhalten einer viel dickeren Schicht Schwefelkohlenstoff gegen die intensivere Strahlung des elektrischen Lichtes. Ein cylindrischer Trog von 2 Zoll Länge und 2,8 Zoll Durchmesser war an seinen Enden mit Platten von vollkommen durchsichtigem Steinsalz verschlossen. Derselbe wurde leer vor die elektrische Lampe gestellt und hinter denselben eine mit einem Galvanometer verbundene thermo-elektrische Säule. Der Ausschlag der Nadel des letzteren betrug 73°. Wurde der Trog, ohne seine Lage zu ändern, mit Schwefelkohlenstoff gefüllt, so fiel der Ausschlag auf 72°. Bei einem anderen, in gleicher Weise angestellten Versuche ergaben sich in beiden Fällen die Ablenkungen gleich 74 und 73°, so dass die Einführung des Schwefelkohlenstoffs die hindurchgegangene Wärmemenge nur im Verhältniss von 100 zu 94,8 vermindert *).

Ein allen Anforderungen entsprechendes Lösungsmittel für das Jod würde die totale Strahlung gar nicht ändern; die vorhergehenden Versuche zeigen, dass der Schwefelkohlenstoff dieser Bedingung sehr nahe genügt. Wir wollen jetzt die totale Strahlung zerlegen, indem wir in dem Schwefelkohlenstoff eine Substanz lösen, die die sichtbaren Strahlen auffangen und die unsichtbaren hindurchlassen kann. Jod thut dies sehr vollkommen. In einer kurzen Abhandlung über helle und dunkle Strahlung (Philosophical Magazine November 1864) habe ich durch die folgende Tabelle die Diathermanität dieser Lösung dargestellt.

Tabelle III. Strahlung durch Jodlösung.

Wärmequelle.	Durchgegangene Wärme.
Dunkle Platindrahtspirale	100
Lampenruss (100° C.)	100
Rothglühende Platinspirale	100
Wasserstoffflamme	100
Oelflamme	97
Gasflamme	96
Weissglühende Platinspirale	95,4
Elektrisches Licht (Batterie von 50 Zellen)	90

*) Die theilweise Vernichtung der Reflexion an den Wänden des Troges durch den hineingegossenen Schwefelkohlenstoff wurde hierbei nicht berücksichtigt.

Diese Versuche wurden in folgender Weise angestellt: Ein Trog von Steinsalz wurde zuerst mit durchsichtigem Schwefelkohlenstoff gefüllt und die durch denselben allein hindurchgegangene und auf die Thermosäule fallende Wärmemenge bestimmt. Der Trog wurde sodann mit der undurchsichtigen Jodlösung gefüllt und die durchgegangene Wärmemenge wiederum bestimmt. Bezeichnen wir die durch die durchsichtige Flüssigkeit hindurchgehende Wärmemenge mit 100, so geben die Zahlen in der Tabelle die durch die undurchsichtige Lösung hindurchgegangenen Mengen. Die Resultate beziehen sich selbstverständlich nur auf das im Schwefelkohlenstoff gelöste Jod. Die Zahl 100 bezeichnet also nicht, dass die Lösung selbst, sondern nur, dass das in derselben enthaltene Jod innerhalb der Beobachtungsgrenzen für die Strahlen der vier ersten Wärmequellen vollkommen diatherman ist.

Die bei den letzten Versuchen verwendete Flüssigkeitsschicht war nicht dick genug, um die leuchtende Strahlung der elektrischen Lampe völlig auszulöschen. Es wurde deshalb ein Trog angefertigt, dessen parallele Wände 2,3 Zoll von einander standen und der, mit Jodlösung gefüllt, auch nicht eine Spur des intensivsten Lichtes hindurchliess.

Nennen wir die, durch den mit reinem Schwefelkohlenstoff gefüllten Trog hindurchgelassene Wärme 100, so folgt als Mittel von 10 Beobachtungen die Menge der durch den mit Jodlösung gefüllten Trog hindurchgegangenen Wärme gleich 86,8. Das Jod absorbirt also 13,2 Proc. Wurde statt der Säule von 40 Elementen eine solche von 50 Elementen angewendet, so ergab sich die durchgelassene Wärmemenge zu 89, die absorbirte zu 11 Proc.

Berücksichtigt man die vollkommne Durchlässigkeit des Jods für die Strahlen von allen nicht gerade weissglühenden Wärmequellen in der Tabelle III, so kann man annehmen, dass die erwähnte Absorption von 11 Proc. die Wärmeintensität der leuchtenden Strahlen allein darstellt. Theilen wir also die Strahlen durch die Jodlösung, so ergiebt sich, dass die unsichtbare Strahlung des elektrischen Lichtes 8mal so gross ist als die sichtbare. Messen wir in Fig. 105 die Flächenräume *ABCD* und *CDE*, so ist der erstere, der die dunkle Strahlung darstellt, 7,7mal so gross

als der letztere. Es führt also die Zerlegung des Lichtes durch das Prisma zu demselben Resultat, wie seine Filtration durch die Jodlösung.

§. 4. Die Lösung des Jods in Schwefelkohlenstoff ist geeignet, alle leuchtenden Strahlen aus der gemischten Strahlung abzusondern. Das Lösungsmittel ist ganz durchsichtig, die Lösung fängt aber jeden sichtbaren Strahl ab; ihre Absorptionskraft endet dabei sehr plötzlich an dem äussersten Roth des Spectrums. Ohne Zweifel erstreckt sich die Absorption ein wenig über dasselbe hinaus, und bei sehr dicken Schichten würde die Absorption der ultrarothen Strahlen sehr bemerkbar werden. Aber die Lösung kann in Schichten angewendet werden, die wohl alles Licht abfangen, die unsichtbaren Wärmestrahlen indess ohne wesentliche Schwächung hindurchlassen.

Das hier beschriebene „Strahlenfilter" wurde schon im Anfang des Jahres 1862 in öffentlichen Vorlesungen von mir benutzt. Ich concentrirte die Strahlen der elektrischen Lampe durch grosse Linsen, schnitt alle sichtbaren Strahlen durch die Jodlösung ab und erhielt so unsichtbare Brennpunkte von bis dahin unbekannter Wärmewirkung. Im Herbst 1864 wurden ähnliche Versuche mit Steinsalzlinsen und Spiegeln angestellt. In der Abhandlung über leuchtende und dunkle Strahlung habe ich verschiedene Schmelz- und Verbrennungswirkungen beschrieben, die so durch die unsichtbaren Strahlen des elektrischen Lichtes und der Sonne hervorgebracht wurden *).

*) Es mögen hier die folgenden Versuche angeführt werden, die zu eben jener Zeit angestellt wurden. Eine $3^3/_4$ Zoll im Durchmesser haltende Glaskugel wurde mit der Jodlösung gefüllt und vor die elektrische Lampe gestellt. In dem durch dieselbe gebildeten Brennpunkt der dunklen Strahlen wurde schwarzes Papier durchbohrt und zum Glimmen gebracht. Zwei planconvexe Steinsalzlinsen von drei Zoll Durchmesser waren in einem Abstande von $^3/_8$ Zoll, mit ihren ebenen Flächen einander gegenüber, in einen Messingring gefasst, und der Zwischenraum mit der Jodlösung gefüllt. In dem Focus dieser Linse wurde Papier angebrannt; indess gelang es bei keinem dieser Versuche, dasselbe vollständig zu entflammen. Mit den mir zur Verfügung stehenden hohlen, mit der Lösung gefüllten Planconvexlinsen erhielt ich keine Wirkung, da ihre Brennweite zu gross war.

Von der Entzündung von Papier und der Schmelzung schmelzbarer Metalle zu dem Weissglühen schwer schmelzbarer Metalle war nur ein Schritt. Um den Wärmeverlust durch Leitung zu vermeiden, mussten die Metalle in Form möglichst dünner Bleche angewendet werden. Die ersten Versuche mit Platinfolie gaben ein negatives Resultat, und es bedurfte deshalb der Untersuchung, ob wohl die gesammte Strahlung der elektrischen Lampe das Metall zum Weissglühen erhitzen könnte, ohne dass dabei eine Verbrennung eintritt. Als nun ein dünnes Platinblech den Kohlenspitzen direct ohne zwischengestellte Linsen bis auf $^1/_2$ Zoll genähert wurde, was ich von hinten durch ein dunkles Glas beobachtete, so begann dasselbe roth zu glühen. Es bedurfte also nur der Herstellung eines Brennpunktes in grösserer Entfernung, welcher dieselbe erwärmende Kraft besass, wie die directen Strahlen in $^1/_2$ Zoll Entfernung.

Zuerst versuchte ich die directen Strahlen so viel wie möglich zu benutzen. Ein Stück Platinfolie wurde einen Zoll weit von den Kohlenspitzen aufgestellt, so dass es ihre directen Strahlen empfing, und sodann ein kleiner Hohlspiegel hinter den Kohlenspitzen angebracht, der die nach hinten fallenden Strahlen auf der Platinfolie concentrirte. Die Wirkung dieses Spiegels compensirte reichlich die Verminderung der Wärmewirkung durch Vermehrung des Abstandes von den Kohlenspitzen von $^1/_2$ Zoll auf 1 Zoll. Selbst bei 2 und 3 Zoll Entfernung von den Kohlenspitzen konnte auf diese Weise die Platinfolie zum Weissglühen gebracht werden.

Bei der letzterwähnten Entfernung konnte ich zwischen dem Brennpunkt und der Wärmequelle einen Trog mit Jodlösung einschalten. Die hindurchgelassenen dunklen Strahlen vermochten noch Papier zu entzünden und Platinfolie zum Weissglühen zu erhitzen. Diese Versuche sind indess nicht ganz gefahrlos. Zu wiederholten Malen entzündete sich der leicht brennbare Schwefelkohlenstoff in der Lösung und der ganze Apparat stand in Flammen; da er indess in einer flachen Schale voll Wasser stand, in welchem der brennende Schwefelkohlenstoff wegen seines grösseren specifischen Gewichtes untersank, so erloschen die Flammen bald. Ich versuchte wegen dieser Unfälle den Schwefelkohlenstoff durch andere

Lösungsmittel zu ersetzen; die Lösungen sind indess theils nicht dunkel genug, theils absorbiren sie die ultrarothen Strahlen und schwächen dadurch die Wirkung, wie z.B. beim Chloroform, Jodäthyl und Jodmethyl, Benzin, Essigäther u.s.w. Auch Chlor- und Bromschwefel, die ausserdem wegen ihrer, die Augen und Lunge reizenden Dämpfe kaum anzuwenden sind, besitzen zwar eine grosse Diathermanität, indess doch nicht die der Jodlösung. Zweifach Chlorkohlenstoff ist nicht brennbar und scheint noch diathermaner zu sein, als Schwefelkohlenstoff, löst aber leider nicht Jod genug auf, dass mässig dicke Schichten der prächtig purpurgefärbten Lösung völlig undurchsichtig erscheinen. Dieselbe könnte indess bei Vorlesungsversuchen sehr wohl verwendet werden, wenn sie auch für entscheidende Untersuchungen über die dunklen Strahlen nicht geeignet ist.

In Folge dieser vergeblichen Versuche bemühte ich mich, die Gefahren bei Anwendung der Lösung des Jods in Schwefelkohlenstoff möglichst zu vermindern. Bei meinen früheren Versuchen schloss ich deshalb die elektrische Lampe und den Spiegel in eine Blechkammer ein und der vom Spiegel reflectirte Lichtkegel ging durch eine $2^3/_4$ Zoll weite Oeffnung in derselben, welche mit einer vollkommen durchsichtigen Steinsalzplatte verschlossen war. Vor derselben befand sich auf einem an der Kammer befestigten Tischchen die Jodlösung. Die Kammer erwärmte sich bald durch die intensive Strahlung, und so konnte ausser durch die directe Strahlung auch durch ihre Wärme die Jodlösung erhitzt werden. Es wurde deshalb die Oeffnung in der Kammer mit einem ringförmigen Gefäss umgeben, durch welches beständig kaltes Wasser floss. Dieses trat sodann in eine, um den Trog mit der Jodlösung gelegte Hülle und kühlte auf diese Weise den Apparat ab. In den, den oberen Hals des Troges schliessenden Kork war eine lange Glasröhre eingesetzt, welche weit von dem Focus des Hohlspiegels endete, so dass selbst bei einer schwachen Entwickelung von Schwefelkohlenstoffdampf keine Entzündung mehr zu befürchten war. Mit dem so vorgerichteten Apparat und einer Säule von 50 Elementen ergaben sich die folgenden Resultate:

Ein Stück in einem Drahtring befestigte Silberfolie wurde durch Dämpfe von Schwefelammonium geschwärzt. Wurde es in den dunklen Focus gehalten, so leuchtete der Ueberzug zuweilen in lebhafter Rothgluth auf.

Aehnlich behandelte Kupferfolie kam ins Rothglühen.

Ein Stück platinirter Platinfolie wurde in einem luftleergepumpten Recipienten so aufgestellt, dass der Brennpunkt auf das Platin fiel. Die Wärme in demselben verwandelte sich augenblicklich in Licht, und man sah auf dem erglühenden Metall ein deutliches und umgekehrtes Bild der Kohlenspitzen.

Schwarzes Papier an Stelle der Platinfolie wurde augenblicklich durchbohrt, eine Rauchwolke trat durch die Oeffnung und senkte sich wie ein Wasserfall auf den Boden des Recipienten nieder. Das Papier schien zu brennen, ohne weisszuglühen. Auch hier wurde ein Wärmebild der Kohlenspitzen aus dem Papier herausgebrannt. Schwarzes Papier wird in dem Focus, wenn das Bild der Kohlenspitzen in demselben recht scharf ist, immer an zwei Stellen duchbohrt, die den Bildern der beiden Kohlenspitzen entsprechen. Da die positive Spitze die heissere ist, so wird auch ihr Wärmebild das Papier zuerst durchbohren. Es brennt ein grosses Loch in das Papier, in welchem die kraterartige Vertiefung an dem Ende der Spitze deutlich erkennbar ist. Die negative Kohlenspitze bohrt gewöhnlich nur ein kleines Loch in das Papier.

Mit rothem Quecksilberjodid bestrichenes Papier wurde an den Stellen des unsichtbaren Bildes der Kohlenspitzen entfärbt.

Verkohlte Papierstücke wurden in dem Focus, sowohl in der Luft, wie unter dem Recipienten der Luftpumpe, weissglühend.

Bei diesen älteren Versuchen bediente ich mich eines Spiegels aus einer Duboscq'schen Kammer, der erst auf der Hinterfläche, dann auf der Vorderfläche versilbert war. Der Trog, welcher die Jodlösung enthielt, war gleichfalls von Duboscq, wie er gewöhnlich der elektrischen Lampe zur Aufnahme von Alaunlösung beigegeben wird. Seine Seitenflächen sind von gutem weissem Glase; ihr Abstand beträgt 1,2 Zoll.

§. 5. Ein für die Theorie sehr wichtiger Punkt steht mit diesen Versuchen in nahem Zusammenhange. Professor Stokes hat bei seinen ausgezeichneten Untersuchungen über Fluorescenz stets gefunden, dass dabei die Brechbarkeit des einfallenden Lichtes sich verminderte. Dieses Verhalten ist so constant, dass man darin ein allgemeineres Naturgesetz erblicken möchte. Wenn aber die Strahlen, welche bei den vorhergehenden Versuchen Platin, Gold und Silber zum Rothglühen erhitzten, allein ultrarothe waren, so würde das sichtbare Aufleuchten der Metalle ein Beispiel von gesteigerter Brechbarkeit sein. — Deshalb wünschte ich mich zu vergewissern, dass durch die Lösung keine Spur von sichtbaren Strahlen hindurchging und die unsichtbaren Strahlen dem Ultraroth allein angehörten. — Vielleicht möchte es überflüsssig erscheinen, diese letztere Bedingung einzuhalten, da die Wärmewirkung der ultravioletten Strahlen so sehr gering ist, dass ihre erwärmende Wirkung völlig verschwinden würde. Ich wünschte indess aus mechanischen Gründen alle Strahlen auszuschliessen, deren Brechbarkeit grösser wäre als die der Strahlen, welche im Focus erzeugt werden. Obgleich also die Jodlösung alles Licht der Sonne um Mittag abfing, unterwarf ich sie doch noch einer strengeren Prüfung.

Ein Stück dickes schwarzes Papier wurde in einem Retortenhalter befestigt und allmählich dem Focus der unsichtbaren Strahlen genähert, bis ein Loch in das Papier gebrannt wurde. Dasselbe wurde sodann ausgelöscht und der Retortenhalter ein klein wenig mehr zur elektrischen Lampe hingeschoben, so dass der convergirende Strahlenkegel durch das Loch hindurchging und etwa $^1/_2$ Zoll hinter demselben sich in dem Brennpunkte vereinte. Ein Stück geschwärztes Platin wurde dicht hinter der Oeffnung auf einer ziemlich grossen Fläche zum Rothglühen erhitzt. Das Platin wurde sodann hin- und herbewegt, bis es an einer Stelle am lebhaftesten erglühte, und diese Stelle genau bezeichnet. Sodann wurde ein Trog mit concentrirter Alaunlösung zwischen das Diaphragma von schwarzem Papier und die Jodlösung gestellt. Hierdurch wurde die unsichtbare Strahlung wesentlich vermindert; indess übt die Alaunlösung keinen wesentlichen Einfluss auf die in dem Licht-

kegel enthaltenen sichtbaren Strahlen aus. Alle Fugen der die Lampe umgebenden Kammer waren vorher sorgfältig verschlossen und das Zimmer völlig verdunkelt worden. Das Auge wurde sodann in eine Höhe mit der Oeffnung gebracht und langsam bis in den vorher bezeichneten Brennpunkt vorgeschoben. Nun zeigte sich eine eigenthümliche Erscheinung. Die weissglühenden Kohlenspitzen der Lampe erschienen tief schwarz auf dunkelrothem Hintergrunde. Wurden sie bewegt, so bewegten sich ihre schwarzen Bilder in gleicher Weise. Wurden sie zur Berührung gebracht, so erschien an ihren Enden ein weisser Raum, der sie zu trennen schien. Die Spitzen erschienen aufrecht und konnten bei sorgfältiger Beobachtung bis zu ihren Haltern verfolgt werden.

Die Dunkelheit der glühenden Kohlenspitzen kann natürlich nur eine relative sein; sie fangen mehr von dem Lichte auf, welches von dem hinten befindlichen Spiegel kommt, als sie selbst durch ihre directe Strahlung ausgeben.

Es genügte also eine 1,2 Zoll dicke Schicht von Jodlösung nicht vollkommen den Anforderungen. Es wurden deshalb gleichzeitig zwei mit Jodlösung gefüllte Tröge von resp. 2 Zoll und etwa $2^1/_2$ Zoll Weite, der erstere mit Seitenflächen von Steinsalz, der zweite mit Flächen von Glas, in den Weg des Strahlenkegels gestellt. Bei Wiederholung des soeben beschriebenen Verfahrens konnte man keine Spur von Licht mehr bemerken. Nun wurde die Alaunlösung entfernt und das ungeschützte Auge dem Brennpunkte genähert. Die Hitze war unerträglich, schien aber mehr die Augenlider, als die Retina zu afficiren. Sodann wurde ein Metallschirm mit einer Oeffnung, die etwas grösser war, als die Pupille, vor das Auge gehalten und dasselbe vorsichtig dem Focus genähert. Der ganze concentrirte Strahlenkegel trat hier in das Auge, indess nahm man keine Spur von Licht wahr, und auch von der Wärme wurde die Retina nicht merklich berührt. Wurde das Auge entfernt und an die Stelle der Retina ein platinirtes Platinblech gehalten, so wurde es sogleich lebhaft rothglühend *). Die Strahlen, welche dieses Erglühen bewirkten, waren sicherlich unsichtbare. Auch gelang es selbst mit den

*) Von der Wiederholung dieser Versuche ist entschieden abzurathen.

empfindlichsten Mitteln und im ganz dunklen Zimmer nicht, auch nur eine Spur von Fluorescenz in dem dunklen Focus zu erhalten, zum Beweise, dass die unsichtbaren Strahlen ausschliesslich ultrarothe waren.

Will man recht intensive Wirkungen erzielen, so muss man möglichst viele unsichtbare Strahlen in einem Bildpunkt vereinen und sie daselbst auf einem möglichst kleinen Raume concentriren. Je näher man den Spiegel an die Lichtquelle bringt, desto mehr Strahlen fängt er auf und strahlt er zurück, und je näher derselben der Bildpunkt ist, desto kleiner ist das Bild selbst. Um beiden Bedingungen zu genügen, muss man Spiegel von kurzer Brennweite anwenden. Anderseits wird dann bei einiger Grösse des Spiegels seine Krümmung bedeutend und dadurch die sphärische Abweichung der Strahlen vermehrt; er fängt dann also zwar viele Strahlen auf, sammelt sie aber nur unvollkommen im Bilde.

Nach mehreren Versuchen schien die geeignetste Brennweite etwa 5 Zoll (der Durchmesser des Spiegels etwa 8 bis 9 Zoll) zu sein; und dem entsprechend muss der Spiegel aufgestellt werden. Dann ist das Bild noch weit genug von der Lichtquelle entfernt, um die Jodzelle zwischenzuschalten, und die Hitze im Bildpunkt ist noch äusserst gross.

Die Unabhängigkeit des Lichtäthers von der Luft kann sehr schlagend durch folgende Versuche dargethan werden: Die Luft im Bildpunkt kann die Temperatur des schmelzenden Eises besitzen, während der Lichtaether daselbst eine Wärmemenge enthält, die bei der Absorption die Luft zur Flammenhitze erwärmen kann. Ein Luftthermometer wird nicht afficirt, während Platin weissglüht. — Eine Anzahl anderer Versuche über die Wirkung der unsichtbaren Wärmestrahlen ergiebt sich ohne Weiteres. Die dichten Rauchwolken, die von einem in den dunklen Bildpunkt gebrachten, geschwärzten Holzstück aufsteigen, sind sehr auffallend; Streichhölzer, eine Cigarre, Taback in einer Pfeife werden selbstverständlich daselbst sogleich entzündet, Schiesspulver explodirt. Trocknes schwarzes Papier und kleine Holzschnitzel brennen sogleich an. Ein Stück braunes Papier erglüht im Bildpunkt zuerst lebhaft auf einer grossen Fläche, dann bricht es durch und

die Verbrennung verbreitet sich ringförmig um den entzündeten Mittelpunkt. Holzkohle verbrennt zu Asche und verkohlte Papierstücke erglühen sehr lebhaft. Geschwärztes Blei, Zinnfolie kann geschmolzen werden, während ein dickes Stück leichtschmelzbaren Metalls schnell duchbohrt wird und abschmilzt. Ein Streifen geschwärzter Zinnfolie verbrennt im dunklen Focus mit Flamme; zieht man ihn langsam durch denselben, so kann man die Verbrennung bis zur völligen Verzehrung des Streifens fortsetzen. Ein an dem Ende flach geschlagener und geschwärzter Magnesiumdraht entzündet sich ebenfalls. Man kann die Körper bei den Versuchen unter Glasrecipienten bringen; die vereinten Wärmestrahlen entzünden sie dennoch, auch nachdem sie durch das Glas gegangen sind. Ein kleines Stückchen Holz in einer Glocke voll Sauerstoff brennt plötzlich auf; Holzkohlenstaub verbreitet plötzlich ganze Ströme von Funken.

§. 6. In all diesen Fällen war der der Wirkung der unsichtbaren Wärmestrahlen ausgesetzte Körper mehr oder weniger brennbar. Er bedurfte einer grösseren oder geringeren Erwärmung, damit die Verbindung mit dem Sauerstoff der Luft eingeleitet wurde. Seine Helligkeit entsprach meist der Erhitzung durch das Verbrennen und lieferte keinen entscheidenden Beweis, dass die Brechbarkeit der auffallenden Strahlen erhöht war. Dieses letzte, theoretisch äusserst wichtige Resultat erhält man, wenn man nicht brennbare Körper in den Brennpunkt bringt, oder brennbare in einen sauerstofffreien Raum einschliesst. Sowohl in der Luft, wie im Vacuum wurde Platinfolie wiederholt zum Weissglühen erhitzt; ebenso Kohlen und Coaksstücke im luftleeren Raume. Das weissglühende Platin zeigte beim Anblick durch ein Schwefelkohlenstoffprisma ein lebhaftes und vollständiges Spectrum vom Roth bis zum Violett, und doch waren die Wellen, welche ursprünglich diese Farben erzeugten, weder mit den sichtbaren noch mit den ultravioletten Strahlen gemischt, sie waren ausschliesslich ultraroth. Die Wirkung der Atome des Platins, Kupfers, Silbers, der Kohle verwandelt diese Wärmestrahlen in Lichtstrahlen. Sie fallen mit einer bestimmten Oscillationsgeschwindigkeit auf das Platin auf und verlassen es mit einer grösseren. Ihre

Brechbarkeit ist auf diese Weise vermehrt, die unsichtbaren Strahlen sind sichtbar geworden. Um diese Umwandlung der Wärmestrahlen in Strahlen von grösserer Brechbarkeit zu bezeichnen, möchte ich den Ausdruck „Calorescenz" vorschlagen. Er passt gut zu dem von Professor Stokes eingeführten Wort „Fluorescenz" und deutet auch den Vorgang bei den betreffenden Erscheinungen an. Der von Professor Challis eingeführte Ausdruck: „Umwandelung der Strahlen" entspricht beiden Gruppen von Phänomenen gemeinschaftlich.

§. 7. Bei den bisher beschriebenen Apparaten hatte ich den Zweck verfolgt, die Anwendung einer so leicht entzündlichen Substanz, wie Schwefelkohlenstoff, möglichst gefahrlos zu machen. Seitdem bin ich auf eine andere Anordnung des Apparates gekommen, die denselben Zweck einfacher erfüllt und die Wiederholung der Versuche erleichtert.

Der Spiegel hinter den Kohlenspitzen wird so aufgestellt, dass das von demselben reflectirte Strahlenbündel schwach convergirt. In seinen Weg stellt man, etwa $3^1/_2$ Fuss von den Kohlenspitzen, eine gewöhnliche Glasflasche mit der Jodlösung. Dieselbe dient zugleich als Filtrum für die sichtbaren Strahlen, die sie zurückhält, und als Linse für die hindurchgehenden unsichtbaren Strahlen, die sie stark zusammenbricht. Verschiedene Flaschen von 1,5 bis $6^3/_4$ Zoll Durchmesser gaben hierbei Brennpunkte, in denen Platin hellroth oder weissglühte, Papier sogleich sich entzündete u. s. f. Selbst in 22 Fuss Entfernung von der Wärmequelle konnte bei dieser Anordnung Platin zum Rothglühen erhitzt werden.

Indess auch der beste Spiegel zerstreut die Strahlen zum Theil, und so wird die Wirkung in grösserer Entfernung geschwächt. Man kann die Wirkung in der Luft indess verstärken, wenn man vor die Kammer ein innen polirtes Zinnrohr setzt, welches den seitlichen Verlust an Wärmestrahlen verhindert, und vor das Ende des Rohres die Flasche mit der Jodlösung hält oder auf eine andere Weise daselbst fest aufstellt. So kann man mit einer Säule von 50 Elementen Platin im Focus der Flasche zum Weissglühen erhitzen.

Statt der Flasche mit der undurchsichtigen Lösung kann man auch eine Glas- oder Steinsalzlinse von 2,5 Zoll Durch-

messer und 3 Zoll Brennweite in den Weg der reflectirten Strahlen bringen und vor oder hinter ihr einen mit der Jodlösung gefüllten Trog mit planparallelen Glaswänden aufstellen. In dem Vereinigungspunkte der Strahlen hinter der Linse erhält man selbstverständlich alle Wirkungen der Calorescenz und Verbrennung.

Endlich kann man das von dem Spiegel hinter den Kohlenspitzen reflectirte Strahlenbündel auf einen zweiten Hohlspiegel fallen und durch ihn vereinigen lassen. In dem Vereinigungspunkt, der einige Fuss von der Kammer entfernt sein kann, erhält man wiederum die obigen Resultate. Indess verwendet man hierbei zweckmässig für die gewöhnlichen Fälle zum Lösen des Jods Zweifach-Chlorkohlenstoff statt des Schwefelkohlenstoffs, und stellt den Trog mit der undurchsichtigen Lösung nahe an der Kammer auf.

Alle diese Versuche lassen sich mit der gewöhnlichen Lampe und Kammer von Duboscq anstellen. Will man nicht im Dunklen experimentiren, so kann man die letztere auch entbehren und den Spiegel und das Strahlenfilter vor der offenen Lampe anbringen.

Ich habe auch versucht, Platin durch die unsichtbaren Strahlen des elektrischen Lichtes zu schmelzen, theils mittelst einer grossen elektrischen Lampe nach Foucault unter Anwendung einer Säule von 100 Elementen, theils mittelst zweier elektrischer Lampen mit resp. 100 und 70 Elementen, deren Wärmestrahlen durch zwei Spiegel und Strahlenfilter von den beiden entgegengesetzten Seiten auf denselben Punkt eines Platinblechs concentrirt wurden. Das Platin wurde lebhaft weissglühend, schmolz aber nicht; wahrscheinlich weil der Ueberzug von Platinschwarz durch die enorme Hitze fortgeführt, und nun durch die starke reflectirende Kraft des Metalls die Absorption der Wärmestrahlen zu sehr vermindert wurde. Beim Bedecken des Platins mit Lampenruss wurde es fast bis zum Schmelzen gebracht, wie man an dem abgekühlten Blech deutlich sehen konnte. Indess auch hier verfliegt die absorbirende Substanz zu schnell. Kupfer und Aluminium verbrennen bei dem gleichen Verfahren alsbald.

§. 8. Bis jetzt habe ich ausschliesslich die dunklen Strahlen des elektrischen Lichtes verwendet; indess alle weissglühenden festen Körper senden diese unsichtbaren Wärmestrahlen aus. Je dichter dabei der glühende Körper ist, desto kräftiger ist seine dunkle Strahlung. Wir besitzen in der Royal Institution sehr dichte Kalkcylinder zur Erzeugung des Drummond'schen Lichtes; wird eine kräftige Knallgasflamme auf dieselben geleitet, so erglühen sie mit lebhaft gelblichem Lichte und ihre dunkle Strahlung ist äusserst kräftig. Sondert man die letztere von der totalen Ausstrahlung durch die Jodlösung, so kann man in dem Focus der unsichtbaren Strahlen alle vorher beschriebenen Wirkungen erhalten. Lässt man die Knallgasflamme nach dem Vorschlage von Herrn Carlevaris gegen zusammengepresste Magnesia treffen, so ist das Licht weisser, als das Kalklicht; da indess die Masse leicht und schwammig ist, so übertrifft die dunkle Strahlung der Kalkcylinder die der Magnesia *).

Auch die unsichtbaren Strahlen der Sonne wurden in gleicher Weise umgewandelt. Die von einem Hohlspiegel von 3 Fuss Durchmesser auf dem Dache der Royal School of Mines in London reflectirten Sonnenstrahlen wurden durch die Jodlösung geleitet, sodann in einem dunklen Raume concentrirt und in den Brennpunkt derselben ein Stück platinirtes Platinblech gebracht. Dasselbe zeigte ein schwaches, aber deutliches Erglühen. In klarerer Luft, in einem Garten des Herrn Lubbock bei Chislehurst, zeigten die gesammten, von diesem Spiegel reflectirten Sonnenstrahlen ausserordentlich be-

*) Die Entdeckung der Fluorescenz durch Professor Stokes liess natürlich erwarten, dass eine Umänderung der Brechbarkeit im entgegengesetzten Sinne möglich wäre, und so viel ich weiss, machte Herr Grove einige dahin einschlagende Versuche. Indess sehr bald nach der Veröffentlichung der Abhandlung des Herrn Stokes bezeichnete Herr Dr. Miller das Kalklicht selbst als ein Beispiel gesteigerter Brechbarkeit. Da die Strahlen der Knallgasflamme selbst das Glas nicht durchdringen, schloss er, dass dieselben fast ausschliesslich ultrarothe wären, was später durch ihre prismatische Zerlegung bestätigt wurde. Trifft die Knallgasflamme auf Kalk, so muss demnach bei dem Auftreten des hellen Lichtes in der That eine Aenderung der langsamen Schwingungsdauer der Strahlen in eine schnellere, eine thatsächliche Erhöhung der Brechbarkeit eintreten.

deutende Wirkungen. Grosse Stücke Platinblech verschwanden in dem Brennpunkte wie durch Verdunstung; Papier stand im Focus augenblicklich in hellen Flammen u. s. f. Diese Versuche zeigen, wie bedeutend die sichtbare Strahlung der Sonne im Verhältniss zu ihren unsichtbaren Strahlen ist. Während die unsichtbaren Strahlen des elektrischen und Kalklichtes, deren Gesammtstrahlung viel kleiner als die der Sonne ist, Platin zum Weissglühen erhitzen können, vermögen die unsichtbaren Strahlen der Sonne, nachdem die sichtbaren Strahlen aufgefangen sind, nach ihrer Concentration kaum ein helles Rothglühen hervorzubringen. Die Hitze der leuchtenden Sonnenstrahlen ist dagegen so bedeutend, dass es sehr schwierig ist, mit ihnen unter Anwendung der Jodlösung zu arbeiten. Dieselbe kochte schon 2 bis 3 Secunden nach dem ersten Auffallen der Strahlen und blieb beständig im Sieden. Dieses Ueberwiegen der leuchtenden über die dunklen Strahlen ist zweifellos in gewissem Grade der Absorption eines grossen Theils der letzteren durch den Wasserdampf in der Luft zuzuschreiben. Hieraus kann man indess auch auf die enorm hohe Temperatur der Sonne schliessen.

Wurden auf dem Dach der Royal Institution die Sonnenstrahlen durch eine mit Jodlösung gefüllte Hohllinse geleitet, so erglühte Platinblech in ihrem Brennpunkte. Auch als die Sonnenstrahlen, welche vom Glase sehr gut durchgelassen werden, durch eine schöne Linse aus einem photographischen Apparate des Herrn Mayall in Brighton concentrirt wurden, beobachtete man nach gänzlicher Absorption der leuchtenden Strahlen im Brennpunkt noch Rothglühhitze.

§. 9. Bei den vorher beschriebenen Versuchen wurde häufig schwarzes Papier angewendet, auf welches die unsichtbaren Strahlen sehr energisch wirkten. Man kann hiernach erwarten, dass die Absorption dieser Strahlen von der Farbe abhängt. Ein rothes Pulver ist roth, weil leuchtende Strahlen von grösserer Brechbarkeit als die rothen in dasselbe eindringen und absorbirt werden, und nur das nicht absorbirte rothe Licht durch Reflexion an den Grenzflächen der Theilchen des rothen Körpers zurückgeworfen wird. Diese geringe Absorption der rothen Strahlen erstreckt sich auch auf Strahlen von grösserer Wellenlänge jenseits des Roth; wird daher rothes

Papier in den Focus der unsichtbaren Strahlen gebracht, so wird es daselbst kaum verkohlt, während schwarzes Papier sich augenblicklich entflammt. Folgendes ist das Verhalten verschiedener Papiersorten im dunklen Brennpunkt eines elektrischen Lichtes von mässiger Intensität.

Papier	Verhalten
Orange Glanzpapier	Kaum verkohlt
Rothes "	Kaum verändert, weniger als das orange
Grünes u. blaues Glanzpapier	In einem kleinen glimmenden Ringe durchbohrt
Schwarzes Glanzpapier . . .	Durchbohrt und augenblicklich entflammt
Weisses " . . .	Verkohlt, aber nicht durchbohrt
Dünnes Postpapier	Kaum verkohlt, weniger als das weisse
Weisses Löschpapier	Kaum verändert
Gewöhnliches braunes Papier	Sogleich durchbohrt, ein glimmender Ring breitet sich nach allen Seiten aus
Dickes weisses Sandpapier Braunes Schmirgelpapier .	Von einem glimmenden Ringe durchbohrt
Matt schwarzes Papier . . .	Durchbohrt und sogleich entflammt.

Das rothe Papier absorbirt also fast gar keine unsichtbaren Strahlen, selbst weisses Papier absorbirt mehr und wird deshalb leichter verkohlt. Reibt man rothes Quecksilberjodid auf Papier und bringt die geröthete Oberfläche in den Focus, so erhält man ein thermisches Bild der Kohlenspitzen, indem an der Stelle, wo ihre Strahlen auffallen, die Farbe gebleicht wird. Ich erwartete, diesen Farbenwechsel sogleich eintreten zu sehen und wunderte mich zuerst darüber, dass eine längere Zeit zu demselben erforderlich war. Dies erinnert uns an Franklin's Versuche mit Kleidungsstücken von verschiedenen Farben und an seinen Schluss, dass dunkle Farben die Strahlen am stärksten absorbiren. Man kann hierin aber leicht zu weit gehen. Die Farben Franklin's waren besondere und ihr Verhalten berechtigt keineswegs zu allgemeineren Schlüssen. Die unsichtbaren Strahlen der Sonne besitzen nach Müller die doppelte lebendige Kraft wie die sichtbaren. Ein weisser Körper kann die ersteren absorbiren, während eine dunkel gefärbte Substanz — dunkel, weil sie den geringeren (sichtbaren) Theil der Strahlen absorbirt — dies nicht thut. Das weiss gefärbte Pulver des Alauns und das dunkle des Jods zeigen unter dem Einfluss einer Quelle, deren unsichtbare

Strahlen die sichtbaren weit übertreffen, ein Verhalten, welches gerade im Gegensatz zu der allgemeinen Ansicht steht, dass dunkle Körper am besten absorbiren.

§. 10. Schliesslich will ich kurz einige Resultate erwähnen, durch welche die Calorescenz bestimmt wird, wenn die Strahlen durch Gläser von verschiedener Farbe hindurchgehen. In der ersten Columne der folgenden Tabelle ist die Farbe des Glases, in der zweiten die Wirkung desselben angegeben, als durch das Glas ein glänzendes Spectrum beobachtet wurde; in der dritten Columne ist das Verhalten eines Bleches von platinirtem Platin angegeben, welches in den Focus der durch das Glas gegangenen Strahlen gebracht wird.

Farbe des Glases.	Untersuchung durch das Spectrum.	Calorescenz.
Dunkelroth	Roth allein geht durch	Dunkle Weissgluth
Hellroth	Gelb besond. stark aufgefangen	Lebhaft weiss
Gelb	Das blaue Ende absorbirt	Lebhaft roth; im Centrum hellgelb
Grün	Grün, ein dunkelrother und ein blauer Streifen durchgelassen	Kein Erglühen
Purpur	Aeusserstes Roth und Blau durchgelassen	Lebhaft orange
Hell Purpur	Grün besonders geschwächt, sonst das ganze Spectrum durchgelassen	Ebenso
Dunkelblau	Blau, ein Streifen in Grün und im äussersten Roth durhgelassen.	Rothgluth
Hellblau	Eine Reihe von blauen und grünen Streifen, ein rother Streifen nahe am Orange, ein dunkelrother Streifen und das äusserste Roth durchgelassen.	Blauroth
Blau (anderes Glas)		Blauroth
Schwarz I.	Das ganze Spectrum geschwächt, weisses Licht durchgelassen	Kaum sichtbare Rothgluth
II.	Grünlich weisses Licht durchgelassen	Dunkle Rothgluth
III.	Dunkelrothes Licht durchgelassen	Hellroth; in der Mitte orange

Es ergiebt sich hieraus die höchst bemerkenswerthe Thatsache, dass wenn der Strahl der elektrischen Lampe durch gewisse blaue Gläser geleitet wird, das Platin im Focus mit deutlich blaurothem Licht leuchtet. Eine subjective Täuschung wurde sorgfältigst vermieden. Die blaurothe Farbe zeigte sich auch im Focus der unsichtbaren Strahlen. Wurden alle Gläser fortgenommen und das Strahlenbündel allein durch die Jodlösung filtrirt, so wurde das Platin fast bis zur Weissgluth erhitzt. Wurde das hellblaue Glas zwischen die Jodlösung und den Focus gebracht, so war die Calorescenz des Platins so bedeutend geschwächt, dass man sie nur in einem dunklen Raume wahrnehmen konnte; dann aber zeigte sich das thermische Bild blauroth. Ein Stück verkohltes Papier wurde ohne das blaue Glas sogleich weissglühend; mit demselben war die Farbe des von der Kohle ausgesendeten Lichtes zuerst entschieden blauroth. Die Wirkung des Sauerstoffs der Luft ändert bald diese Farbe; die Gluth breitet sich dann nach allen Seiten in einem weissglühenden Kreise aus. Sollten spätere Versuche dieses Resultat bestätigen, so würde sich daraus ergeben, dass in der Calorescenz eine Lücke besteht, indem die Atome des Platins mit den Schwingungsdauern des Roth und Blau, nicht aber mit denen der dazwischen liegenden Farben oscilliren. Indess sind jedenfalls weitere Versuche nöthig, um die Ursache dieser Erscheinung vollständig zu ergründen.

Wurde ein weissglühendes Wärmebild der Kohlenspitzen dargestellt und ein sehr hellrothes Glas zwischen die dunkle Lösung und das Platin gebracht, so verminderte sich sowohl die Grösse als auch die Helligkeit des Wärmebildes. Ein zweites tiefer rothes Glas und noch mehr ein dunkelrothes Glas verkleinerten und schwächten das Wärmebild noch mehr; die sichtbare Oberfläche desselben war nur noch sehr klein und die Hitze nur eine dunkle Rothgluth. Wurde statt des gefärbten Glases ein Streifen rein weissen Glases eingeführt, so verminderte sich die Helligkeit des Bildes der Kohlenspitzen auf dem Platinblech kaum merklich. Ein dickes Stück von tief rubinrothem Glase erwies sich ebenso durchstrahlig; auch durch dieses wurde die Helligkeit des Wärmebildes kaum beeinträchtigt. In diesem Falle war der das Glas färbende Stoff Gold,

und nicht das sonst zu rothen Gläsern verwendete Kupferoxydul. Viele Proben gelatinösen Goldes, die Herr Faraday für seine Untersuchungen über die Farbe des Goldes dargestellt hatte, und die so tief gefärbt waren, dass sie fast schwarz erschienen, zeigten sich für die dunklen Wärmestrahlen äusserst durchgängig; ihre Einführung verminderte kaum die Helligkeit des Wärmebildes. Es möchte also scheinen, dass selbst die Metalle in gewissen Aggregatzuständen die bedeutende Diathermanität theilen, welche die Metalloide nach unseren Untersuchungen besitzen.

Ich habe eben erwähnt, dass ein Streifen rein weissen Glases, der in den Weg der unsichtbaren Strahlen eingeführt wurde, kaum die Helligkeit des Wärmebildes schwächte. Die intensiven Wärmestrahlen des elektrischen Lichtes gehen durch dasselbe Glas fast ungeschwächt hindurch. Dies ist ein Punkt, der für die Meteorologie eine grosse praktische Bedeutung hat. Ist dem rein weissen Glase Kohlenstoff in feiner Vertheilung beigemischt, so ist das so dargestellte schwarze Glas für die unsichtbaren Wärmestrahlen, welche den grösseren Theil der Strahlung der Sonne bilden, äusserst durchstrahlig. Ich besitze Stücke scheinbar schwarzen Glases, die 63 Proc. der gesammten Wärme des elektrischen Lichtes durchlassen und es ist nicht zu bezweifeln, dass diese Gläser selbst bei einer Dicke, die genügte, um alles Licht der Sonne abzufangen, doch noch einen grossen Theil ihrer unsichtbaren Wärmestrahlen durchlassen würden. Solches Glas wird aber sehr oft, wenn nicht immer, zur Construction unserer Thermometer mit schwarzen Kugeln angewendet, indem man meint, dass in Folge der Schwärzung sicher alle Sonnenstrahlen absorbirt werden. Dieser Schluss ist trügerisch und dem entsprechend sind die Instrumente mangelhaft. Ein grosser Theil der Sonnenstrahlen geht durch dieses schwarze Glas hindurch, fällt auf das Quecksilber in der Kugel und wird von da durch Reflexion wieder zurückgeworfen. Solche Strahlen tragen nichts zur Erwärmung des Thermometers bei.

Wurde ein Streifen gewöhnliches, scheinbar ganz durchsichtiges Fensterglas zwischen die Jodlösung und das Platinblech im Focus gebracht, so war dadurch das Wärmebild stär-

ker geschwächt als durch das vorher benutzte schwarze Glas. Das Fensterglas erwies sich, von der Seite gesehen, als grün, und dieser Versuch beweist, wie kräftig der grün färbende Stoff, selbst in unendlich kleinen Mengen, die unsichtbaren Wärmestrahlen absorbirt. Durch Vermehrung seiner Quantität könnte man vielleicht das Glas für die Wärmestrahlen völlig undurchgängig machen. Mit solchem grünlichen Glase sollte man bei der Construction von Thermometern mit schwarzer Kugel den Kohlenstoff mischen; in derartigem Glase würden die Sonnenstrahlen vollständig absorbirt werden, und es würden sich wahrscheinlich grössere Differenzen als bisher zwischen dem gewöhnlichen und dem schwarzen Thermometer ergeben.

Schliesslich gereicht es mir zur besonderen Freude, die Intelligenz und Geschicklichkeit hervorheben zu können, mit der mein Assistent, Herr Barret, die vielen ihm übertragenen Versuche während dieser Untersuchung ausführte. —

Dreizehntes Kapitel.

Thau: ein klarer Himmel und eine ruhige, aber feuchte Atmosphäre sind für seine reichliche Bildung erforderlich. — Bethaute Substanzen sind kälter als unbethaute. — Bethaute Substanzen sind besser ausstrahlende Körper als unbethaute. — Thau ist eine Verdichtung des atmosphärischen Dampfes auf Substanzen, die durch Ausstrahlung abgekühlt sind. — Ausstrahlung des Mondes. — Beschaffenheit der Sonne. — Die hellen Linien in den Spectren der Metalle. — Ein weissglühender Dampf absorbirt die Strahlen, die er selbst ausgeben kann. — Kirchhoff's Verallgemeinerung. — Fraunhofer's Linien. — Sonnenchemie. — Ausstrahlung der Sonne. — Herschel's und Pouillet's Versuche. — Mayer's Meteor-Theorie. — Wirkung der Ebbe und Fluth auf die Umdrehung der Erde. — Lebendige Kraft des Sonnensystems. — Helmholtz, Thomson, Waterston. — Beziehung der Sonne zum thierischen und vegetabilischen Leben. — Anhang.

552. Wir haben gehört, dass unsere Atmosphäre immer mehr oder weniger mit Wasserdampf erfüllt ist, dessen Verdichtung unsere Wolken, Nebel, Hagel, Regen und Schnee bildet. Ich will Ihre Aufmerksamkeit jetzt auf eine besondere Verdichtungsart von grossem Interesse und grosser Schönheit lenken, über die lange falsche Ansichten herrschten. Ich meine das Phänomen des Thaus. Der Wasserdampf unserer Atmosphäre ist ein kräftig ausstrahlender Körper; er ist aber in der Luft vertheilt, die gewöhnlich seine Masse mehr

als hundert Mal übertrifft. So muss nicht nur seine eigene Wärme, sondern auch die Wärme einer grossen Menge Luft, die ihn umgiebt, durch den Dampf abgegeben werden, ehe er auf seinen Verdichtungspunkt kommen kann. Die dieser Ursache zuzuschreibende langsamere Abkühlung gestattet stark ausstrahlenden festen Körpern auf der Erdoberfläche, den Dampf in der Schnelligkeit des Erkaltens zu überholen; und daher kann auf diesen Körpern der Wasserdampf zu Flüssigkeit verdichtet werden oder selbst zu Reif gefrieren, während er noch wenige Fuss über der Oberfläche seinen gasförmigen Zustand bewahrt. Dies ist wirklich bei dem schönen Phänomen der Fall, das wir jetzt untersuchen wollen.

553. Wir verdanken einem Londoner Naturforscher die richtige Theorie des Thaus. Dr. Wells publicirte im Jahre 1818 seine schöne Abhandlung über diesen Gegenstand. Er stellte seine Versuche in einem drei Meilen von Blackfriars Bridge entfernten Garten in Surrey an. Er benutzte, um den Thau zu sammeln, kleine Päckchen von Wolle, von denen jedes trocken 10 Gran wog; nachdem er sie in einer klaren Nacht ausgesetzt hatte, wurde die auf ihnen niedergeschlagene Thaumenge durch ihre Gewichtszunahme bestimmt. Er fand bald, dass Alles, was zwischen den Himmel und seine Wolle trat, auch den Niederschlag des Thaus hinderte. Er stützte ein Brett durch vier Korke; auf das Brett legte er eins von seinen Wollpäckchen und unter dasselbe ein zweites; das erste nahm in einer klaren Nacht 14 Gran an Gewicht zu, während das letzte nur 4 Gran zunahm. Er bog eine Stück Pappe so, dass es dem Dach eines Hauses glich und legte darunter ein Päckchen Wolle auf das Gras: die Wolle nahm 2 Gran an Ge-

wicht durch das Aussetzen in einer einzigen Nacht zu, während ein gleiches Stück Wolle, welches auf dem Gras ausgesetzt und ganz ungeschützt durch das Dach war, 16 Gran Feuchtigkeit ansammelte.

554. Bringt Dampf von der Erde oder feiner Regen vom Himmel diesen Niederschlag des Thaus hervor? Man hat sich für beide Ansichten ausgesprochen. Die Thatsache, dass mehr Feuchtigkeit auf dem auf Korken liegenden Brett als auf der darunter befindlichen Erdoberfläche angesammelt war, hat bewiesen, dass der Thau nicht aus der Erde aufsteigt. Die Thatsache, dass der reichlichste Niederschlag in den klarsten Nächten erfolgte, hat bewiesen, dass er kein feiner Regen ist.

555. Dr. Wells setzte nun Thermometer aus, wie vorher die Wollpäckchen und fand, dass an den Stellen, wo der Thau am reichlichsten fiel, die Temperatur am tiefsten sank. Er fand auf dem schon besprochenen, auf Korken liegenden Brett die Temperatur um 5° C. niedriger als unter ihm; unter dem Pappdach war das Thermometer 5,5° C. wärmer als auf dem freien Gras. Er fand auch, dass, wenn er sein Thermometer auf einen Grasplatz in einer klaren Nacht legte, es bisweilen 7,8° C. tiefer sank als ein gleiches Thermometer, das in der freien Luft 4 Fuss über dem Gras aufgehängt worden war. Ein Stückchen baumwollenes Zeug, das neben das erstere gelegt wurde, nahm 20 Gran an Gewicht zu; ein gleiches Stückchen neben dem letzteren nur 11 Gran. Das Sinken der Temperatur und der Niederschlag des Thaus gingen mit einander parallel. Nicht nur der Schatten der künstlichen Schirme hinderte das Sinken der Temperatur und die Thaubildung, sondern auch die Wolkenschirme wirkten in gleicher Weise. Er beobachtete einst, dass sein Thermometer, welches

auf dem Grase eine 6,6° C. niedrigere Temperatur zeigte, als die einige Fuss über dem Grase befindliche Luft, bedeutend stieg, als einige Wolken vorüberzogen, bis es nur noch 1,1° C. kälter war, als die Luft. Sowie die Wolken den Zenith des Thermometers kreuzten oder von ihm verschwanden, stieg oder sank seine Temperatur.

556. Eine Reihe solcher Versuche, die mit bewundernswerther Klarheit und Geschicklichkeit erdacht und ausgeführt wurden, machten es Dr. Wells möglich, eine Theorie des Thaus zu entwerfen, die jede Probe der darauf folgenden Kritik bestand und jetzt allgemein angenommen ist.

557. Er wird erzeugt in Folge der Abkühlung durch Ausstrahlung. „Die oberen Grastheile strahlen ihre Wärme in Regionen des leeren Raumes aus, die daher keine Wärme zurückgeben; die unteren Theile können wegen der Geringfügigkeit ihres Leitungsvermögens sehr wenig von der Erdwärme den oberen Theilen zuführen, die zur gleichen Zeit nur eine geringe Wärmemenge von der Atmosphäre erhalten und gar keine von sonst irgend einem seitlichen Körper, und deshalb kälter als die Luft bleiben und ihren Wasserdampf zu Thau verdichten müssen, wenn dieser in genügender Menge für die gesunkene Temperatur des Grases vorhanden ist. „Warum der Dampf selbst als kräftig ausstrahlender Körper nicht so schnell als das Gras abgekühlt wird, habe ich schon erklärt; der Dampf muss nicht nur seine eigene Wärme entladen, sondern auch die der grossen Menge Luft, von der er umgeben ist.

558. Der Thau ist also das Resultat der Verdichtung des atmosphärischen Dampfes auf Substanzen, die durch die Ausstrahlung genügend abgekühlt worden sind; und

da das Ausstrahlungsvermögen der Körper sehr verschieden ist, so können wir auch dem entsprechende Verschiedenheiten im Niederschlag des Thaus erwarten, wie auch Wells bewiesen hat. Er sah oft Thau reichlich auf Gras und gemaltes Holz fallen, während keiner auf den anstossenden Kieswegen bemerkt wurde. Er fand Metallplatten, die er ausgesetzt hatte, ganz trocken, während daneben liegende Körper mit Thau bedeckt waren. In all solchen Fällen fand er, dass die Temperatur des Metalls höher war, als die der bethauten Substanzen. Dies stimmt mit unserer Erfahrung vollkommen überein, dass die Metalle die schlechtest strahlenden Körper sind. Einmal legte er eine Metallplatte auf das Gras und auf die Platte ein Glasthermometer. Das Thermometer war nach einiger Zeit mit Thau bedeckt, während die Platte trocken blieb. Dies führte ihn auf den Schluss, dass, obgleich das Instrument auf der Platte läge, es doch ihre Temperatur nicht theilte. Er legte ein zweites Thermometer mit einer vergoldeten Kugel neben das erste; das unbedeckte Glasthermometer — ein gut ausstrahlender Körper — blieb um 5° C. kälter als sein Gefährte. Ich bemerke hier, dass es eine schwere Aufgabe ist, die wahre Temperatur eines Körpers zu bestimmen; ein in der Luft aufgehängtes Glasthermometer giebt nicht die Temperatur der Luft an, seine eigene Kraft als ausstrahlender oder absorbirender Körper kommt mit ins Spiel. An einem klaren Tage, wenn die Sonne scheint, wird das Thermometer wärmer sein als die Luft; in einer klaren Nacht wird das Thermometer im Gegentheil kälter sein als die Luft. Wir haben gesehen, dass das Vorüberziehen einer Wolke die Temperatur eines Thermometers in wenigen Minuten um 5,5° C. erhöhen kann. Es ist klar, dass diese Temperaturerhöhung

nicht eine entsprechende Erhöhung der Temperatur der Luft anzeigt, sondern nur durch das Auffangen und das Reflectiren der von dem Thermometer ausgegebenen Wärmestrahlen durch die Wolke bedingt ist.

559. Dr. Wells benutzte seine Principien für die Erklärung mancher eigenthümlichen Wirkungen und für die Berichtigung vieler herrschenden Irrthümer. Er führt die Mondblindheit auf die Abkühlung der Augen durch Ausstrahlung zurück, da das Scheinen des Mondes nur im Zusammenhange mit der Klarheit der Atmosphäre stände. Der fäulnisserregende Einfluss, der den Mondstrahlen zugeschrieben wird, kommt eigentlich dem Niederschlage der Feuchtigkeit zu, die als eine Art Thau auf die ihr ausgesetzten animalischen Substanzen fällt. Die Vernichtung der zarten Pflanzen durch den Frost, wenn die Luft des Gartens einige Grade über den Gefrierpunkt hat, ist ebenfalls der Abkühlung durch Ausstrahlung zuzuschreiben. Ein Schirm von Spinneweben würde genügen, um sie vor Schaden zu bewahren *).

560. Wells war der Erste, der die künstliche Bildung von Eis in Bengalen erklärte, wo diese Substanz sonst niemals von der Natur gebildet wird. Es werden flache Gruben gegraben, die zum Theil mit Stroh angefüllt werden, und auf dem Stroh werden flache, mit Wasser

*) In Bezug hierauf finden wir folgende schöne Stelle in der Abhandhandlung von Wells: — „Ich habe oft, im Stolz des Halbwissens, über die von den Gärtnern angewendeten Mittel gelächelt, um zarte Pflanzen vor dem Frost zu bewahren, da es mir unmöglich schien, dass eine dünne Strohdecke oder irgend eine solche lockere Substanz sie hindern sollte, die Temperatur der Atmosphäre anzunehmen, durch die ich sie allein für gefährdet hielt. Als ich aber erfuhr, dass Körper auf der Erdoberfläche in einer stillen und heitern Nacht kälter werden als die Atmosphäre, indem sie ihre Wärme gegen den Himmel ausstrahlen, sah ich sogleich den richtigen Grund für den von mir für so nutzlos gehaltenen Gebrauch ein."

gefüllte Pfannen dem klaren Himmel ausgesetzt. Das Wasser ist ein kräftig strahlender Körper und strahlt seine Wärme reichlich in den Raum aus. Die so verlorene Wärme kann durch die Erde nicht ersetzt werden — diese Wärmequelle ist durch das nichtleitende Stroh abgeschnitten. Vor Sonnenaufgang hat sich ein Eiskuchen in jedem Gefäss gebildet. Das ist die Erklärung von Wells, die ohne Zweifel die richtige ist, indess meiner Meinung nach noch einiger Zusätze bedarf. Man könnte nach der Beschreibung meinen, dass die für die Eisbildung nothwendigste Bedingung nicht nur klare Luft, sondern trockne Luft ist. Diejenigen Nächte, sagt Sir Robert Barker, sind für die Bildung des Eises die günstigsten, die am klarsten und heitersten sind, und in denen sehr wenig Thau nach Mitternacht fällt. Ich habe diesen sehr bedeutungsvollen Satz besonders hervorgehoben. Um Eis reichlich zu bilden, muss die Atmosphäre nicht nur klar, sondern auch verhältnissmässig frei von Wasserdampf sein. Sowie das Stroh, auf dem die Pfannen lagen, feucht wurde, wurde es immer mit trocknem Stroh vertauscht. Der Grund, den Wells dafür angab, war, dass das Stroh durch das Feuchtwerden compacter und wirksamer als Leiter wurde. Dies mag der Fall sein, aber sicher ist ausserdem, dass der Dampf, der vom feuchten Stroh aufsteigt und sich über die Pfannen wie ein Schirm ausbreitet, die Abkühlung aufhalten und das Gefrieren verzögern würde.

561. Wells setzte mit gebrochener Gesundheit diese schöne Untersuchung fort und vervollständigte sie; am Rande des Grabes schrieb er seine Abhandlung. Sie ist ein Muster weiser Forschung und klarer Darstellung. Er übereilte sich nicht, aber er hatte auch keine Ruhe, bis er Herr seines Gegenstandes war, er behielt ihn immer fest im Auge, bis er seinem Blicke klar und durchsich-

tig wurde. So löste er sein Problem und beschrieb seine Lösung in einer Weise, die sein Werk unsterblich macht*).

562. Nach ihm haben sich verschiedene Experimentatoren mit der Frage der nächtlichen Ausstrahlung beschäftigt; obgleich werthvolle Thatsachen angesammelt worden sind, so ist doch nichts von Wichtigkeit, mit Ausnahme einer Ergänzung von Melloni, zu der Theorie von Wells hinzugekommen. Herr Glaisher, Herr Martins und Andere haben sich mit dem Gegenstande beschäftigt. Die folgende Tabelle enthält einige Resultate, die Herr Glaisher erhielt, als er Thermometer in verschiedenen Höhen über der Oberfläche eines Grasplatzes aussetzte. Die Abkühlung, die beobachtet wurde, wenn das Thermometer auf langem Gras ausgesetzt war, ist durch die Zahl 1000 dargestellt; während die folgenden Zahlen die relative Abkühlung der Thermometer in den betreffenden Stellungen angeben:

Ausstrahlung.

Langes Gras	1000
1 Zoll über den Grasspitzen	671
2 Zoll " " "	570
3 Zoll " " "	477
6 Zoll " " "	282
1 Fuss " " "	129
2 Fuss " " "	86
4 Fuss " " "	69
6 Fuss " " "	52

563. Man könnte fragen, warum das Thermometer, das doch ein gut ausstrahlender Körper ist, sich nicht, wenn es in der freien Luft hängt, ebenso abkühlt, wie auf

*) Dem Aufsatz von Wells geht seine, von ihm selbst geschriebene Biographie voran. Sie hat die Bedeutung eines Essay von Montaigne.

der Erdoberfläche. Wells hat diese Frage beantwortet. Das erkältete Thermometer kühlt die Luft ab, die mit ihm in unmittelbare Berührung kommt; diese Luft zieht sich zusammen, wird schwer, sinkt nieder und wärmere nimmt ihre Stelle ein. So wird das freie Thermometer verhindert, sehr tief unter die Temperatur der Luft zu sinken. Daher auch die Nothwendigkeit einer stillen Nacht für die reichliche Thaubildung; denn wenn der Wind weht, circulirt fortwährend frische Luft zwischen den Grashalmen und verhindert eine bedeutende Abkühlung durch Ausstrahlung.

564. Wird ein ausstrahlender Körper einem klaren Himmel ausgesetzt, so strebt er danach, einen gewissen Abstand, wenn ich den Ausdruck brauchen darf, zwischen seiner Temperatur und der der umgebenden Luft zu erhalten. Dieser Abstand wird von dem Ausstrahlungsvermögen des Körpers abhängen, ist aber zum grossen Theil unabhängig von der Lufttemperatur. So hat Herr Pouillet bewiesen, dass im April bei einer Lufttemperatur von 3,6° Eiderdaunen durch die Ausstrahlung auf — 3,5° sanken: die ganze Abkühlung betrug also 7,1°. Im Juni, als die Temperatur der Luft 17,75° C. war, war die Temperatur der ausstrahlenden Eiderdaunen 10,54°; die Abkühlung der Eiderdaunen durch Ausstrahlung ist hier 7,21°, also fast dieselbe, wie die im April. Während so die äussere Temperatur in weiten Grenzen schwankt, bleibt die Differenz der Temperatur zwischen dem ausstrahlenden Körper und der umgebenden Luft ziemlich constant.

565. Durch diese Thatsachen gelang es Melloni, der Theorie des Thaus noch ein wichtiges Moment hinzuzufügen. Er fand, dass ein auf der Erde liegendes Glasthermometer nie mehr als 2° C. unter die Temperatur eines daneben liegenden Thermometers mit versilberter Kugel abgekühlt

wurde, welches letztere überhaupt kaum ausstrahlt. Diese 2° C. geben ungefähr den oben angeführten Temperaturabstand an, den das Glas zwischen sich und der umgebenden Luft zu erhalten strebt. Aber Six, Wilson, Wells, Percy, Scoresby, Glaisher und Andere haben Unterschiede von mehr als 10° C. zwischen einem Thermometer gefunden, das auf dem Grase lag, und einem zweiten, das einige Fuss über dem Grase hing. Worauf soll man dies zurückführen? Es kühlen sich einfach nach Melloni die Grashalme zuerst durch Ausstrahlung um 2° C. unter die umgebende Luft ab; die Luft wird dann durch die Berührung mit dem Grase abgekühlt und bildet um dasselbe ein kaltes Luftbad. Es strebt aber das Gras, den obigen Unterschied zwischen seiner Temperatur und der des umgebenden Mediums zu bewahren. Seine Temperatur sinkt darum tiefer und ebenso die der Luft, nachdem sie durch die Berührung mit dem Grase weiter abgekühlt wurde; das Gras sucht indess den vorigen Unterschied wieder herzustellen, die Luft folgt ihm wieder und so sinkt durch Wirkung und Gegenwirkung die ganze Schicht der Luft, die mit dem Grase in Berührung kommt, auf eine viel tiefere Temperatur, als die ist, welche der wirklichen ausstrahlenden Kraft des Grases entspricht.

566. So viel über die Ausstrahlung der Erde; die des Mondes wird uns nicht so lange beschäftigen. Viele vergebliche Versuche sind gemacht worden, um die Wärme der Mondstrahlen zu entdecken. Es herrscht kein Zweifel darüber, dass jeder leuchtende Strahl auch ein Wärmestrahl ist; aber die lichtgebende Kraft ist nicht einmal ein annäherndes Maass für die erwärmende Kraft eines Strahles. Mit einer grossen, aus vielen Zonen zusammengesetzten Linse warf Melloni das Bild des Mondes auf seine Thermosäule, aber die Kälte seiner Linse war mehr

als genügend, um die etwaige Wärme des Mondes zu verdecken. Er beschirmte seine Linse vor dem Himmel, stellte seine Säule in den Focus der Linse, wartete bis die Nadel auf Null ging, und liess, indem er nun schnell seinen Schirm fortnahm, das gesammelte Licht auf die Säule fallen. Die geringen Luftzüge am Orte des Versuchs genügten, die Wirkung zu verdecken. Er schloss dann die Röhre vor der Säule mit Glasschirmen, durch die das Licht frei auf die geschwärzte Fläche der Säule fiel, wo es in Wärme verwandelt wurde. Diese Wärme konnte nicht durch den Glasschirm zurückstrahlen, und so sammelte Melloni seine Wirkungen nach dem Beispiele Saussure's, und erhielt eine Ablenkung von 3 oder 4° am Galvanometer. Die Ablenkung zeigte Wärme an. Der bei weitem grössere Theil der Wärme, die der Vollmond ausgiebt, muss aus dunklen Strahlen bestehen, und diese werden fast ganz von unserem atmosphärischen Dampf absorbirt. Selbst solche dunkle Strahlen, die möglicher Weise die Erde erreichen könnten, würden durch eine Linse, wie sie Melloni benutzte, gänzlich abgeschnitten werden. Es würde sich der Mühe lohnen, den Versuch mit einem metallischen Reflector, anstatt mit einer Linse zu machen. Ich selbst habe es mit einem konischen Reflector von sehr grossen Dimensionen versucht, bin aber immer durch die Unbeständigkeit des Londoner Climas behindert worden.

567. Wir haben uns jetzt mit der Quelle zu beschäftigen, aus der alle Erd- und Mondwärme fliesst. Diese Quelle ist die Sonne; denn wenn die Erde einst eine geschmolzene Kugel gewesen sein sollte, die sich jetzt abkühlt, so ist die Wärmemenge, die ihre Oberfläche von innen aus erreicht, schon seit langer Zeit nicht mehr merklich. Lassen Sie uns denn nun zuerst fragen, welches die Beschaf-

fenheit dieses wunderbaren Körpers ist, dem wir Licht und Leben verdanken.

568. Wir wollen uns dem Gegenstand allmählich nähern und uns erst durch einige vorhergehende Betrachtungen auf die Behandlung dieser grossen Frage vorbereiten. Sie wissen schon, wie das Spectrum des elektrischen Lichtes gebildet wird. Hier ist ein 2 Fuss breites und 8 Fuss langes Spectrum auf dem Schirm mit all seinen glänzenden Farbenabstufungen, von denen die eine in die andere übergeht, ohne Unterbrechung der Continuität. Das Licht, welches das Spectrum giebt, wird von den weissglühenden Kohlenspitzen in unserer elektrischen Lampe ausgestrahlt. Alle anderen weissglühenden festen Körper geben ein ähnliches Spectrum. Wenn ich diesen Platindraht durch einen ektrischen Strom weissglühend mache und sein Licht durch ein Prisma untersuche, finde ich dieselbe Abstufung der Farben, ohne irgend eine Lücke zwischen denselben. Durch intensive Hitze, durch die Hitze der elektrischen Lampe z. B., kann ich ein Metall verflüchtigen und auf den Schirm, nicht das Spectrum des weissglühenden festen Körpers, sondern das seines weissglühenden Dampfes werfen. Das Spectrum ist jetzt verändert; statt einer continuirlichen Reihefolge von Farben besteht es jetzt aus einer Reihe glänzender Linien, die durch dunkle Zwischenräume von einander getrennt sind.

569. Ich habe meine Kohlenspitzen in folgender Weise aufgestellt: — Die untere ist jetzt ein Cylinder von ungefähr ½ Zoll Durchmesser, in dessen oberer Fläche ein kleines Loch ausgehöhlt ist; in dieses Loch lege ich das zu untersuchende Metall, z. B. dieses Stück Zink, und bringe meine obere Kohlenspitze hinauf. Der Strom geht hindurch; ich trenne die Spitzen von einander und Sie sehen

den glänzenden Bogen, der sie jetzt vereint; hier auf dem Schirm ist sein vergrössertes Bild, ein feiner 18 Zoll langer Streifen von purpurfarbenem Licht. Dieser gefärbte Raum enthält die Zinktheilchen, die von Kohle zu Kohle übergeführt worden sind; diese Theilchen schwingen jetzt in bestimmten messbaren Perioden, und die Farbe, die wir sehen, ist die Mischung der Eindrücke, die wir diesen Schwingungen zuschreiben müssen. Führen wir den gefärbten Streifen durch ein Prisma auf seine Bestandtheile zurück, so haben wir leuchtende Bänder von rothem und blauem Licht.

570. Ich unterbreche den Strom, nehme das Zink fort und lege an seine Stelle ein Stückchen Kupfer. Sie sehen jetzt einen Strom von grünem Licht zwischen den Kohlen, den wir, wie das purpurfarbene Licht des Zinks, analysiren wollen. Sie sehen, dass das Spectrum des Kupfers von dem des Zinks verschieden ist. Hier sind Bänder von glänzendem Grün, die beim Zink nicht vorhanden waren. Daraus können wir mit Sicherheit schliessen, dass die Atome des Kupfers in dem Volta'schen Lichtbogen in Perioden schwingen, die von denen des Zinks ganz verschieden sind. Wir wollen jetzt untersuchen, ob sich diese verschiedenen Perioden gegenseitig stören, wenn wir mit einer Substanz arbeiten, die aus Zink und Kupfer zusammengesetzt ist — mit dem bekannten Messing. Sein Spectrum ist jetzt vor Ihnen, und wenn Sie das Bild unserer beiden letzten Versuche behalten haben, so werden Sie erkennen, dass das Spectrum durch die Uebereinanderlagerung der beiden getrennten Spectra des Zinks und Kupfers gebildet worden ist. Die Legirung strahlt ohne jede gegenseitige Störung die Strahlen aus, die den in ihr enthaltenen Metallen eigen sind.

571. Jedes Metall strahlt sein eigenes System von

Streifen aus, das ebenso charakteristisch für dasselbe ist, wie alle anderen physikalischen und chemischen Eigenschaften, die ihm seine Individualität geben. Durch eine recht feine Versuchsmethode können wir genau die Stellung der glänzenden Linien jedes bekannten Metalls messen. Kennen wir diese Linien, so können wir nur nach dem Anblick des Spectrums jedes einzelnen Metalls sogleich seinen Namen nennen. Und nicht nur dies, sondern selbst bei einem gemischten Spectrum können wir die einzelnen Theile der Mischung, von dem es ausgeht, genau angeben.

572. Dies bestätigt sich nicht nur bei den Metallen selbst, sondern auch bei ihren Verbindungen, wenn sie flüchtig sind. Ich lege ein Stückchen Natrium auf meinen unteren Cylinder und lasse den Volta'schen Strom von demselben zur oberen Kohlenspitze gehen; da ist das Spectrum des Natriums, ein einziger Streifen von glänzendem Gelb. Machte ich meinen Versuch mit genügender Genauigkeit, so könnte ich diesen Streifen in zwei theilen, die durch einen schmalen dunklen Zwischenraum von einander getrennt sind. Ich entferne das Natrium aus der Lampe und bringe an seine Stelle ein wenig gewöhnliches Salz oder Chlornatrium. Bei dieser hohen Temperatur wird das Salz flüchtig, und Sie sehen genau denselben gelben Streifen bei dem Salz, den auch das Metall gab. So kann ich auch durch Chlorstrontium die Streifen des Metalls Strontium hervorbringen; durch die Chloride des Calciums, Magnesiums und Lithiums rufe ich die Spectra der entsprechenden Metalle hervor.

573. Endlich ist hier ein Kohlencylinder, der von Löchern durchbohrt ist, die ich mit einer Mischung von all den bis jetzt angeführten Substanzen gefüllt habe; und dort ist das Spectrum der Mischung auf dem Schirm.

Sicher kann man sich nichts Glänzenderes denken. Jede Substanz strahlt die ihr eigenen Strahlen aus, die das ganze, 8 Fuss lange Spectrum der Quere nach in parallele Streifen von lebhaft gefärbtem Licht theilen. Da Sie sich vorher mit den Linien bekannt gemacht haben, die von all' diesen Metallen ausgestrahlt werden, so könnten Sie das Spectrum enträthseln und mir alle Substanzen nennen, die zu seiner Hervorbringung angewendet worden waren.

574. Ich benutzte den Volta'schen Bogen einfach darum, weil sein Licht so intensiv ist, dass es so vielen Zuhörern, wie hier versammelt sind, sichtbar wird; ich könnte dieselben Versuche mit einer gewöhnlichen Löthrohrflamme machen, die durch die Beimischung von Luft oder Sauerstoff des Lichts fast ganz beraubt ist. Die Einführung von Natrium oder Chlornatrium macht die Flamme gelb; Strontian macht sie roth; Kupfer, grün, u. s. f. Die so gefärbten Flammen zeigen bei der Untersuchung durch ein Prisma genau dieselben Streifen, die ich ihnen auf dem Schirm gezeigt habe.

575. Wir haben hier also die Ausstrahlung von bestimmten Gruppen von Strahlen durch weissglühende Dämpfe. Wir wollen unsere Aufmerksamkeit jetzt auf die Absorption von bestimmten Strahlengruppen durch gasförmige Substanzen lenken. Ein berühmter Versuch von Sir David Brewster, den ich in eine, für die Vorlesungen geeignete Form bringen will, wird es mir möglich machen, Ihnen diese Eigenschaft zu zeigen. In diesen Cylinder, dessen Enden durch Glasplatten geschlossen sind, führe ich salpetrigsaures Gas ein, dessen Gegenwart durch seine lebhafte braune Farbe angezeigt wird. Ich werfe ein Spectrum von 8 Fuss Länge und ziemlich 2 Fuss Breite auf den Schirm und stelle diesen Cylinder mit dem braunen Gase in den

Weg des Strahls, wie er von der Lampe kommt. Sie sehen die Wirkung: Das continuirliche Spectrum ist jetzt von vielen dunklen Streifen durchfurcht, deren entsprechende Strahlen von dem salpetrigsauren Gas abgefangen wurden, während es die zwischenliegenden Lichtstreifen unbehindert durchlässt.

576. Wir kommen jetzt zu dem grossen Princip, von dem diese Erscheinungen abhängen, und das wir schon zum Theil erklärt haben. Dieses, zuerst von Professor Kirchhoff aufgestellte Princip heisst, dass ein Gas oder ein Dampf genau die Strahlen absorbirt, die er selbst ausstrahlen kann. Atome, die mit einer gewissen Geschwindigkeit schwingen, fangen Wellen auf, die mit derselben Geschwindigkeit schwingen. Die Atome, die mit rothem Licht schwingen, werden rothes Licht auffangen; die Atome, die gelb schwingen, werden gelb auffangen; die, welche grün schwingen, werden grün auffangen u. s. f. Sie wissen, dass die Absorption eine Uebertragung der Bewegung des Aethers auf die in ihm vertheilten Moleküle ist, und die Absorption jedes einzelnen Atoms hauptsächlich auf diejenigen Wellen ausgeübt wird, die in Perioden ankommen, welche mit seiner eigenen Schwingungsdauer übereinstimmen.

577. Wir wollen uns bemühen, dies durch den Versuch zu beweisen. Wir wissen schon, dass eine Natriumflamme uns bei der Analyse einen glänzenden gelben Streifen giebt. Wir haben hier ein flaches Gefäss, das eine Mischung von Alkohol und Wasser enthält; ich erwärme die Mischung und entzünde ihren Dampf: er giebt eine so schwach leuchtende Flamme, dass sie kaum sichtbar ist. Ich mische jetzt Salz mit der Flüssigkeit und zünde sie wieder an; die Flamme, die den Augenblick vorher kaum

zu sehen war, ist jetzt glänzend gelb. Ich werfe dann ein continuirliches Spectrum auf den Schirm und in den Weg des von der elektrischen Lampe kommenden Strahles stelle ich die gelbe Natriumflamme. Beobachten Sie jetzt das Spectrum genau: Sie sehen im Gelb einen unstäten grauen Streifen, der bisweilen dunkel genug ist, um Ihnen zu zeigen, dass die Flamme wenigstens zum Theil das Gelb des Spectrums aufgefangen hat: sie hat theilweise dasselbe Licht absorbirt, das sie selbst ausstrahlt.

578. Doch möchte ich die Wirkung noch klarer machen, und lasse darum die Salzflamme fort. Hier ist ein Bunsen'scher Brenner, dessen Flamme ausserordentlich heiss ist, obgleich sie kaum etwas Licht ausstrahlt. Ich stelle den Brenner vor die Lampe, so dass der Strahl, dessen Zerlegung unser Spectrum bilden soll, durch die Flamme gehen muss. Ich habe hier ein kleines Platinnetz, in das ich ein erbsengrosses Stückchen des Metalls Natrium lege. Das brennende Natrium strahlt ein starkes Licht aus, und dieser Pappschirm ist dazu bestimmt, sein Licht vom Schirm, auf den das Spectrum fällt, abzuhalten. Jetzt ist Alles für den Versuch fertig. Hier ist zuerst das Spectrum. Ich führe jetzt das Platinnetz mit dem Natrium in die Flamme vor der Lampe ein; das Natrium färbt die Flamme augenblicklich intensiv gelb, und Sie sehen einen Schatten über das Gelb des Spectrums gleiten. Die Wirkung hat aber noch nicht ihr Maximum erreicht. Das Natrium kommt jetzt plötzlich in ein lebhaftes Brennen, und sie sehen, das Gelb scheint gänzlich aus dem Spectrum ausgeschnitten zu sein, ein Strich von intensiver Dunkelheit nimmt seinen Platz ein. Diese heftige Verbrennung dauert eine kurze Zeit an. Ich ziehe die Flamme zurück, das Gelb er-

scheint wieder auf dem Schirm; ich führe sie wieder hinein, der gelbe Streifen ist ausgelöscht. Dies kann zehnmal hinter einander geschehen, und ich glaube, es giebt in der ganzen Reihe der optischen Versuche keinen überzeugenderen. Hier haben wir aufs klarste bewiesen, dass das von der Natriumflamme absorbirte Licht genau dasselbe Licht ist, welches sie ausstrahlen kann.

579. Ich will meinen Versuch noch genauer anstellen. Das Gelb des Spectrums breitet sich über einen bestimmten Raum aus, und ich will Ihnen nun zeigen, dass eben das von der Natriumflamme ausgestrahlte Gelb auch von derselben Flamme absorbirt wird.

Ich bringe etwas Salzwasser auf die Enden meiner Kohlenspitzen; Sie sehen jetzt das continuirliche Spectrum mit dem gelben Streifen des Natriums, der glänzender als das übrige Gelb hervortritt. Ich stelle die Natriumflamme wieder vor und gerade der aus dem Spectrum hervorleuchtende Streifen ist ausgelöscht, ein tief dunkler Zwischenraum nimmt seine Stelle ein.

580. Sie haben schon ein Spectrum gesehen, das von einer Mischung verschiedener Substanzen gebildet war und aus einer Reihefolge von scharfgezeichneten und glänzenden Streifen bestand, die durch dunkle Intervalle von einander getrennt waren. Könnte ich die Mischung, die dieses gestreifte Spectrum hervorrief, auf eine genügend hohe Temperatur bringen, um ihren Dampf weissglühend zu machen, und brächte ich ihre Flamme in den Weg des Strahles, der das continuirliche Spectrum hervorrief, so würde ich aus dem letzteren genau die Strahlen auslöschen, die von den Bestandtheilen der Mischung ausgingen. Ich würde so, statt mein Spectrum durch einen einzigen dunklen Streifen zu unterbrechen, wie beim Natrium, es durch eine Reihe von dunklen Streifen

furchen, die an Zahl den von der Mischung hervorgerufenen glänzenden Streifen gleich wären, als diese selbst die Quelle des Lichts war.

581. Jetzt sind wir wohl hinlänglich vorbereitet, um eine der bedeutendsten Verallgemeinerungen unserer Zeit zu verstehen. Wenn das Sonnenlicht durch ein Prisma zerlegt wird, so sieht man das Spectrum von unzähligen dunklen Linien durchzogen. Einige wenige derselben wurden zuerst von Dr. Wollaston beobachtet; sie wurden sodann mit grosser Geschicklichkeit von Fraunhofer untersucht und nach ihm Fraunhofer'sche Linien genannt. Man hat lange angenommen, dass diese dunklen Zwischenräume durch die Absorption der ihnen entsprechenden Strahlen in der Sonnenatmosphäre bewirkt werden, aber Niemand konnte hiervon den Grund angeben. Nachdem wir einmal bewiesen haben, dass ein weissglühender Dampf genau dieselben Strahlen absorbirt, die er selbst ausstrahlt, und wissen, dass der Sonnenkörper von einer weissglühenden Lichthülle (Photosphäre) umgeben ist, so muss uns plötzlich der Gedanke kommen, dass diese Photosphäre solche Strahlen des centralen weissglühenden Himmelskörpers auslöscht, die sie selbst aussenden kann. So werden wir auf eine Theorie von der Beschaffenheit der Sonne geführt, die eine vollständige Erklärung für die Fraunhofer'schen Linien giebt.

582. Nach Kirchhoff besteht die Sonne aus einer geschmolzenen oder festen centralen Kugel von ausserordentlichem Glanz, die alle möglichen Arten von Strahlen aussendet und daher ein continuirliches Spectrum geben würde. Die Ausstrahlung des Kerns muss indess durch die Photosphäre gehen, die die Sonne wie eine Flamme umschliesst, und diese Dampfhülle löscht alle die besonderen Strahlen des Kernes aus, die sie selbst

ausstrahlen kann; die Fraunhofer'schen Linien zeigen die Stellung der fehlenden Strahlen. Könnten wir den Centralkern zerstören und das Spectrum der gasförmigen Umhüllung allein darstellen, so würden wir ein gestreiftes Spectrum erhalten, in welchem jeder glänzende Streifen mit einer der Fraunhofer'schen dunklen Linien übereinstimmen würde. Diese Linien sind daher Zwischenräume von relativer, nicht von absoluter Dunkelheit; auf dieselben fallen noch die Strahlen der absorbirenden Photosphäre; da diese aber nicht genügend hell sind, um das aufgefangene Licht zu ersetzen, so sind die von ihnen erleuchteten Räume dunkel im Vergleich zu dem allgemeinen Glanz des Spectrums.

583. Man hat lange angenommen, dass die Sonne und die Planeten einen gemeinsamen Ursprung haben, und dass daher dieselben Substanzen ihnen allen mehr oder weniger gemeinsam seien. Können wir die Gegenwart irgend einer unserer irdischen Substanzen in der Sonne entdecken? Ich habe gesagt, dass die hellen Streifen eines Metalls für das Metall charakteristisch sind; dass wir, ohne das Metall gesehen zu haben, seinen Namen nach der Untersuchung der Streifen nennen können. Die Streifen sind also, so zu sagen, die Stimme des Metalls, durch die es sein Dasein bekundet. Wenn daher irgend eines unserer irdischen Metalle in der Sonnenatmosphäre enthalten wäre, so müssten die dunklen Linien, die dasselbe hervorruft, genau mit den glänzenden Linien übereinstimmen, die der Dampf des Metalls selbst ausstrahlt. Man hat ungefähr sechzig glänzende Linien bestimmen können, die dem einzigen Metall Eisen zukommen. Wenn man das Licht von weissglühendem Eisendampf, den man durch das Ueberschlagen elektrischer Funken zwischen zwei Eisendrähten erhalten kann, durch die Hälfte eines schmalen

Spaltes fallen lässt, und das Sonnenlicht durch die andere Hälfte, so kann man die Spectra beider Lichtquellen neben einander stellen; und dabei findet man, dass jeder glänzenden Linie des Eisenspectrums eine dunkle Linie des Sonnenspectrums entspricht. Nach einer genauen Berechnung ist hiernach die Wahrscheinlichkeit mehr als 1,000,000,000,000,000,000 : 1, dass Eisen in der Sonnenatmosphäre enthalten ist. Als Professor Kirchhoff, dessen Genius wir diese grossartige Verallgemeinerung verdanken, die Spectra anderer Metalle auf die gleiche Weise mit dem der Sonne verglich, fand er Eisen, Calcium, Magnesium, Natrium, Chrom und andere Metalle in der Sonnenatmosphäre; es gelang ihm aber noch nicht, Gold, Silber, Quecksilber, Aluminium, Zinn, Blei, Arsenik oder Antimon darin zu entdecken.

584. Ich kann die hier vorausgesetzte Beschaffenheit der Sonne noch vollkommener, als bei unseren früheren Versuchen nachahmen. Ich stelle in die elektrische Lampe einen Kohlencylinder von ungefähr einem halben Zoll Dicke; rund um den oberen Rand des Cylinders lege ich einen Ring von Natrium, lasse aber den inneren Theil des Cylinders frei. Ich führe die obere Kohlenspitze gegen die Mitte der ebenen Oberfläche des Cylinders und erzeuge das gewöhnliche elektrische Licht. Die Nähe dieses Lichtes am Natrium genügt, um das letztere zu verflüchtigen, und so umgebe ich meine kleine centrale Sonne mit einer Atmosphäre von Natriumdampf, so wie die wirkliche Sonne von ihrer Photosphäre umgeben ist. Sie sehen, dass der gelbe Streifen im Spectrum dieses Lichtes fehlt.

585. Die von der Sonne ausgestrahlte Wärme ist von Sir John Herschel am Cap der guten Hoffnung und von Herrn Pouillet in Paris gemessen worden. Die Uebereinstimmung beider Messungen ist sehr merkwür-

dig. Sir John Herschel findet, dass die directe Wärmewirkung der im Zenith stehenden Sonne auf der Meeresoberfläche eine Schicht Eis von 0,00754 Zoll Dicke in der Minute schmelzen kann, während nach Herrn Pouillet die Menge 0,00703 Zoll beträgt. Das Mittel beider Bestimmungen kann nicht weit von der Wahrheit entfernt sein; es würde 0,00728 Zoll Eis in der Minute oder ungefähr einen halben Zoll in der Stunde betragen. Ich habe vor Ihnen ein Instrument aufgestellt (Fig. 106), das dem von Herrn Pouillet benutzten ähnlich ist und von ihm Pyrheliometer genannt wurde. Dieses Instrument besteht aus einem hohlen Stahlcylinder *aa*, der mit Quecksilber angefüllt ist. In den Cylinder ist das Thermometer *d* eingeführt, dessen Röhre durch ein Stück Messingrohr geschützt wird. So erhalten wir die Temperatur des Quecksilbers. Das flache Ende des Cylinders wird gegen die Sonne gekehrt, seine derselben dargebotene Oberfläche ist mit Lampenruss bedeckt. Hier ist eine Baumschraube *c c*, vermöge deren das Instrument an einer Stange befestigt werden kann, die in dem Erdboden oder in dem Schnee aufgestellt wird, wenn die Beobachtungen

Fig. 106.



in bedeutender Höhe gemacht werden. Die die Sonnenstrahlen auffangende Oberfläche muss senkrecht gegen die Strahlen sein, und dies wird dadurch erreicht, dass man eine Scheibe *ee* an der das Rohr des Thermometers schützenden Messingröhre befestigt, welche gerade denselben Durchmesser hat, wie der Stahlcylinder. Bedeckt der Schatten des Cylinders die Scheibe, so sind wir sicher, dass die Strahlen senkrecht auf seine nach oben gekehrte Oberfläche fallen.

586. Die Beobachtungen wurden auf folgende Art gemacht: Zuerst lässt man das Instrument nicht die Sonnenstrahlen auffangen, sondern fünf Minuten lang seine eigene Wärme gegen einen unbewölkten Theil des Himmels ausstrahlen; das auf diese Ausstrahlung folgende Sinken der Quecksilbertemperatur wird aufgeschrieben. Dann wird das Instrument der Sonne zugekehrt, so dass die Sonnenstrahlen fünf Minuten lang senkrecht darauffallen — die Temperaturerhöhung wird wiederum aufgeschrieben. Zuletzt wird das Instrument wieder, von der Sonne abgewendet, dem Himmel zugekehrt, und nach einer fünf Minuten langen Ausstrahlung das Sinken des Thermometers wie vorher bemerkt. Sie könnten vielleicht denken, dass die Bestrahlung durch die Sonne allein genügend sein würde, um ihre erwärmende Kraft zu bestimmen; wir müssen aber nicht vergessen, dass während der ganzen Zeit, dass die Sonne auf das Instrument wirkte, die geschwärzte Oberfläche des Cylinders auch in den Raum ausstrahlt; es ist kein reiner Gewinn an Wärme: die von der Sonne empfangene Wärme geht zum Theil wieder verloren, selbst während der Versuch andauert, und um die so verlorene Wärme zu finden, ist der erste und letzte Versuch erforderlich. Um die ganze erwärmende Kraft der Sonne zu erhalten, müssen wir zu der beobachteten wärmenden Kraft

die Menge hinzufügen, welche während des Experiments verloren ging, und diese Menge ist das Mittel aus unserer ersten und letzten Beobachtung. Bezeichnen wir mit dem Buchstaben R die Temperaturerhöhung durch die, fünf Minuten dauernde Bestrahlung durch die Sonne, und durch t und t' die vor und nachher beobachteten Verminderungen der Temperatur, so würde die ganze Kraft der Sonne, die wir T nennen wollen, ausgedrückt werden durch:

$$T = R + \frac{t + t'}{2}.$$

587. Die Oberfläche, auf die hier die Sonnenstrahlen fallen, ist bekannt; die Menge des Quecksilbers im Cylinder ist auch bekannt; daher können wir die Wirkung der Sonnenwärme auf eine gegebene Fläche bestimmen, indem wir sagen, dass sie in fünf Minuten so viel Quecksilber oder so viel Wasser um so viel Temperaturgrade erwärmen kann. Wasser wurde in der That an Stelle des Quecksilbers in dem Pyrheliometer des Herrn Pouillet angewendet.

588. Die Beobachtungen wurden zu verschiedenen Tagesstunden angestellt, wo also die Sonnenstrahlen durch verschiedene Dicken der Erdatmosphäre gingen, von der geringsten Dicke am Mittag bis zu der grössten um 6 Uhr Nachmittags, zu welcher Zeit die späteste Beobachtung gemacht wurde. Es fand sich, dass die Kraft der Sonne nach einem gewissen Gesetz abnahm, als die Dicke der von den Sonnenstrahlen durchkreuzten Luft zunahm; und aus diesem Gesetz konnte Herr Pouillet die Grösse der Absorption berechnen, wenn die Strahlen vom Zenith aus auf sein Instrument fielen. Sie beträgt 25 Proc. Ohne Zweifel würde diese Absorption hauptsächlich auf die längeren, von der Sonne ausgehenden Schwingungen ausgeübt werden, da hauptsächlich der Wasserdampf unserer

Luft, nicht die Luft selbst, wirkt. Ziehen wir die ganze, der Sonne zugekehrte Erdhälfte in Betracht, so beträgt die von der atmosphärischen Umhüllung aufgefangene Wärme vier Zehntel der ganzen Ausstrahlung in der Richtung zur Erde. Würde also die Atmosphäre entfernt, so würde die erleuchtete Halbkugel der Erde ungefähr zweimal so viel Wärme von der Sonne empfangen, als jetzt. Die ganze Menge der Sonnenwärme, die in einem Jahr von der Erde aufgenommen wird, würde bei gleichmässiger Vertheilung über die Erdoberfläche genügen, um eine Schicht Eis von 100 Fuss Dicke, die die ganze Erde bedeckt, zu schmelzen. Sie würde auch einen Ocean von süssem Wasser von einer Tiefe von 66 engl. (15 geogr.) Meilen von der Temperatur des schmelzenden Eises bis zum Kochpunkt erwärmen.

589. Da wir wissen, wie viel Wärme die Erde jährlich empfängt, so können wir die ganze Wärmemenge berechnen, die in einem Jahr von der Sonne ausgestrahlt wird. Denken Sie sich, dass eine hohle Kugel die Sonne umgäbe, deren Mittelpunkt mit dem Mittelpunkt der Sonne zusammenfiele, und deren Oberfläche von demselben um die Entfernung der Sonne von der Erde abstände. Der Durchschnitt der Erde mit dieser Oberfläche verhält sich zu dem ganzen Flächeninhalt der hohlen Kugel wie 1:2,300,000,000; daher ist die Menge der von der Erde aufgefangenen Sonnenwärme nur $\frac{1}{2,300,000,000}$ der ganzen Ausstrahlung.

590. Wenn die von der Sonne ausgestrahlte Wärme benutzt würde, eine Schicht Eis zu schmelzen, die die Oberfläche der Sonne bedeckte, so würde das Eis in einer Stunde 2400 Fuss abschmelzen. Sie würde in der Stunde 700,000 Millionen Kubikmeilen von eiskaltem Wasser zum Sieden

bringen; oder mit anderen Worten, die von der Sonne in einer Stunde ausgegebene Wärme würde der gleich sein, die durch die Verbrennung einer Schicht fester Kohle von zehn Fuss Dicke, die die Sonne ganz umgäbe, erzeugt würde; so ist die in einem Jahr ausgestrahlte Wärme gleich der, welche die Verbrennung einer Kohlenschicht von 17 Meilen Dicke ergeben würde.

591. Dies wäre die Ausgabe der Sonne, die seit Jahrhunderten fortgeht, ohne dass wir in historischen Zeiten den Verlust bemerken konnten. Wird das Läuten einer Glocke in der Entfernung gehört, so schwindet der Klang jedes Tones bald dahin, die tönenden Schwingungen sind bald vorüber, und es sind neue Anstösse erforderlich, um den Klang zu erhalten.

„Die Sonne tönt nach alter Weise", wie die Glocke. Aber wie wird der Ton unterhalten? Wie wird der jährliche Verlust ausgeglichen? Wir sind geneigt, das Wunderbare im Alltäglichen zu übersehen. Wahrscheinlich erscheint Vielen unter uns, und selbst den Aufgeklärtesten unter Ihnen die Sonne als ein Feuer, das sich nur durch die Grösse und die Lebhaftigkeit seiner Verbrennung von den irdischen Feuern unterscheidet. Welches ist aber die brennende Materie, die sich selbst so erhalten kann? Alles, was wir von kosmischen Erscheinungen kennen, spricht für unsere nahe Verwandtschaft mit der Sonne, und beweist, dass dieselben Bestandtheile in der Zusammensetzung ihrer Masse auftreten, die schon dem Chemiker bekannt sind. Aber keine der uns bekannten irdischen Substanzen, keine Substanz, die durch den Fall der Meteorsteine auf die Erde gelangt ist, vermag die Verbrennung der Sonne zu erhalten. Die chemische Wirkung dieser Substanzen würde zu schwach und ihr Verbrauch zu schnell sein. Wäre die Sonne eine Masse

brennender Kohle und würde ihr eine genügende Sauerstoffmenge zugeführt, um die beobachtete Ausstrahlung zu geben, so würde sie in 500 Jahren gänzlich verzehrt sein. Würden wir uns auf der andern Seite denken, sie sei ein Körper, der ursprünglich mit einem Wärmevorrath versehen ist, also eine sich jetzt abkühlende heisse Kugel, so würden wir ihr damit Eigenschaften zuschreiben müssen, die von denen der irdischen Materie gänzlich verschieden sind. Wüssten wir die specifische Wärme der Sonne, so könnten wir die Geschwindigkeit ihrer Abkühlung berechnen. Nehmen wir an, dass diese specifische Wärme gleich der des Wassers sei — desjenigen Körpers auf der Erde, der die grösste specifische Wärme besitzt — so würde bei dem jetzigen Verhältniss der Ausstrahlung die ganze Sonnenmasse sich in 5000 Jahren um 8300° C. abkühlen. Kurz, besteht die Sonne aus einer Materie, die der unseren gleicht, so müssen Mittel und Wege da sein, um ihr ihre ausgestrahlte Wärme wieder zu ersetzen.

592. Diese Thatsachen sind so ausserordentlich, dass die nüchternste Hypothese für sie vermessen erscheinen muss. Wir wissen, dass die Sonne sich in 25 Tagen um ihre Axe dreht: hierdurch kam man zu der Ansicht, dass die Reibung der Peripherie dieses „Rades" gegen irgend etwas in dem umgebenden Raume Licht und Wärme erzeugte. Was aber bildet den Hemmschuh, und durch welche Kräfte wird er gehalten, während er gegen die Sonne reibt? Geben wir zunächst die Existenz einer solchen Hemmung zu, so können wir die ganze Wärmemenge berechnen, die die Sonne durch eine solche Reibung erzeugen könnte. Wir kennen ihre Masse, wir kennen ihre Rotationszeit; wir kennen das mechanische Aequivalent der Wärme, und aus diesen Daten können wir mit Sicherheit berechnen, dass die Rotationskraft, wenn sie ganz

in Wärme verwandelt würde, nicht einmal zwei Jahrhunderte der Ausstrahlung decken würde*). Diese Berechnung schliesst keine Hypothese in sich.

593. Ich habe schon eine andere Theorie angedeutet, die, so kühn sie uns auch erscheinen mag, doch unsere Aufmerksamkeit verdient — die Meteortheorie der Sonne. Kepler's berühmter Ausspruch, dass „mehr Kometen am Himmel seien, als Fische im Ocean", spricht aus, dass nur ein kleiner Theil der Gesammtzahl der zu unserem System gehörigen Kometen, von der Erde aus gesehen werden. Aber ausser den Kometen, Planeten und Monden gehört eine zahlreiche Classe von Körpern zu unserm System, die, wegen ihrer Kleinheit, als kosmische Atome betrachtet werden könnten. Gleich den Planeten und Kometen gehorchen diese kleineren Asteroiden dem Gesetz der Schwere und kreisen in elliptischen Bahnen um die Sonne. Sie sind es, die, wenn sie in die Erdatmosphäre kommen, sich durch Reibung entzünden und uns als Meteore oder Sternschnuppen erscheinen.

594. Es vergehen kaum zwanzig Minuten in einer klaren Nacht auf irgend einem Theil der Oberfläche der Erde, ohne dass wenigstens ein Meteor erschiene. Zweimal im Jahre (am 12ten August und am 14ten November) erscheinen sie in ungeheurer Anzahl. In Boston, von wo man schrieb, dass sie so dicht wie Schneeflocken fielen, beobachtete man während 9 Stunden 240000 Meteore. Man könnte vielleicht die Anzahl, die in einem Jahre fällt, auf hundert oder tausend Millionen abschätzen, und selbst diese würden nur einen kleinen Theil der Gesammtzahl der Asteroiden ausmachen, die sich um die Sonne drehen. Durch die Erscheinungen des Lichts und der Wärme und

*) Mayer, Dynamik des Himmels. S. 10.

durch die directen Beobachtungen an dem Encke'schen Kometen wissen wir, dass das Weltall mit einem widerstehenden Medium erfüllt ist, durch dessen Reibung alle Massen unseres Sonnensystems allmählich zur Sonne gezogen werden. Und obgleich die grösseren Planeten in historischer Zeit keine Abnahme ihrer Umlaufszeiten zeigen, kann es bei den kleineren Körpern sich doch anders verhalten. In der Zeit, in der sich der mittlere Abstand der Erde von der Sonne nur um eine einzige Elle ändern würde, könnte sich ein kleiner Asteroid der Sonne um Tausende von Meilen genähert haben.

595. Verfolgen wir diese Betrachtungen weiter, so kommen wir zu dem Schlusse, dass der unermessliche Strom von wägbarer meteorischer Materie, welcher sich so unaufhörlich zu der Sonne hinbewegt, bei seiner Annäherung an dieselbe an Dichtigkeit zunehmen müsste. Und hier kommt man unwillkürlich auf die Vermuthung, ob die grosse Nebelmasse des Zodiacal-Lichtes, welches die Sonne umschliesst, nicht auch ein Meteorhaufen sein könnte. Es ist wenigstens erwiesen, dass diese leuchtende Erscheinung aus einer Materie besteht, die nach den Gesetzen der Planetenbewegung kreist; demgemäss muss sich die ganze Masse des Zodiacallichts fortwährend der Sonne nähern und unaufhörlich seine Substanz auf sie fallen lassen.

596. Es ist leicht, sowohl die Maximal- als auch die Minimalgeschwindigkeit zu berechnen, die von der Anziehung der Sonne einem um sie rotirenden Asteroiden mitgetheilt wird. Das Maximum wird erzeugt, wenn sich der Körper der Sonne aus einer unendlichen Entfernung nähert; dann wird der ganze Zug der Sonne auf ihn ausgeübt. Das Minimum ist die Geschwindigkeit, vermöge deren der Körper sich gerade nur nahe an der Oberfläche um die Sonne drehen würde. Die Endge-

schwindigkeit des Ersteren, eben ehe er die Sonne berührt, würde 390 Meilen, die des Letzteren 276 Meilen in der Secunde betragen. Trifft das Asteroid die Sonne mit der ersteren Geschwindigkeit, so würde es 9000 Mal mehr Wärme entwickeln, als durch die Verbrennung eines gleichen Asteroiden von fester Kohle erzeugt würde; während der Anstoss im letzteren Falle eine Wärme erzeugen würde, die gleich der Verbrennung von über 4000 solcher Asteroiden wäre. Es kommt daher nicht in Betracht, ob die in die Sonne fallenden Substanzen brennbar sind oder nicht; ihre Verbrennung würde die entsetzliche Hitze, die durch den mechanischen Zusammenstoss erzeugt wird, nicht merklich vermehren.

597. Hier haben wir also eine Thätigkeit, die der Sonne ihre verlorene lebendige Kraft wieder ersetzen und eine Temperatur auf ihrer Oberfläche erhalten kann, die alle Verbrennung auf der Erde weit übertrifft. In dem Fall der Asteroiden finden wir die Mittel, um Sonnenlicht und Wärme zu erzeugen. Man könnte behaupten, dass dieses Niederstürzen von Materie ein Anwachsen der Sonne zur Folge haben könne, und das hat es auch; aber die Menge, durch die die beobachtete Ausstrahlung für 4000 Jahre ersetzt wird, würde sich der Untersuchung durch unsere besten Instrumente entziehen. Wenn die Erde auf die Sonne fiele, so würde sie der Wahrnehmung gänzlich entgehen; aber die durch ihren Stoss erzeugte Wärme würde die Ausstrahlung eines Jahrhunderts decken.

598. Wir können ähnliche Betrachtungen, wie bei der Sonne, auch für die Erde anwenden. Aus der jetzigen Gestalt der Erde schliessen wir, dass sie einst flüssig war. Die Combination der Theorie der Schwere und der mechanischen Theorie der Wärme führen uns auf den

wahrscheinlichen Ursprung des früheren flüssigen Zustandes der Erde. Sie lässt uns den geschmolzenen Zustand eines Planeten von dem mechanischen Anstoss der kosmischen Massen ableiten, und führt so die innere Erdwärme und die strahlende Sonnenwärme auf denselben Grund zurück.

599. Ohne Zweifel ist die ganze Oberfläche der Sonne von einem ununterbrochenen Ocean von feurig flüssiger Materie bedeckt. Auf diesem Ocean ruht eine Atmosphäre von glühendem Gas — eine Flammenatmosphäre oder Photosphäre. Aber gasförmige Substanzen strahlen, selbst wenn ihre Temperatur sehr hoch ist, nur ein schwaches Licht aus. Daher ist es wahrscheinlich, dass das blendende weisse Licht der Sonne durch die Atmosphäre von der darunterliegenden dichteren Materie zu uns kommt *).

600. Die Dauer der jetzigen Verhältnisse der Erde steht noch mit einem anderen Phänomen in Beziehung, welches unsere ganze Aufmerksamkeit verdient. Stehen wir auf einer der Londoner Brücken, so sehen wir 2mal am Tage den Strom der Themse umgekehrt fliessen und das Wasser aufwärts strömen. Das so bewegte Wasser reibt gegen das Bett und die Ufer des Flusses und Wärme ist die Folge dieser Reibung. Die so erzeugte Wärme wird zum Theil in den Weltenraum ausgestrahlt und geht für die Erde verloren. Was ersetzt diesen unaufhörlichen Verlust? Die Umdrehung der Erde. Wir wollen die Sache etwas genauer prüfen. Denken wir uns den Mond feststehen und die Erde sich wie ein Rad von Westen nach Osten in ihrer täglichen Rotation drehen. Ein Berg auf der Erdoberfläche, der sich dem Meridian des Mondes nähert.

*) Ich citire hier nach Mayer; indess ist dies auch die jetzige Ansicht von Kirchhoff. Wir sehen die feste oder flüssige Masse der Sonne durch ihre Photosphäre.

wird gewissermaassen von dem Mond gefasst; er bildet eine Art von Griff, an welchem die Erde schneller herumgezogen wird. Doch ist der Meridian vorüber, so wird der Zug des Mondes an dem Berge in entgegengesetzter Richtung wirken; er dient jetzt dazu, die Schnelligkeit der Umdrehung um so viel zu vermindern, als er sie vorher vermehrt hatte; und so wird die Wirkung aller auf der Erdoberfläche feststehenden Körper neutralisirt.

601. Denken wir uns aber, dass der Berg stets östlich von dem Mondmeridian läge, so würde der Zug immer der Umdrehung der Erde entgegengesetzt geübt und ihre Geschwindigkeit stets in dem Verhältniss zu der Stärke des Zuges vermindert werden. Die Fluthwelle nimmt diese Stellung ein — sie liegt immer östlich vom Mondmeridian, die Wasser des Oceans werden zum Theil wie ein Hemmschuh die Erdoberfläche entlang gezogen und wie ein Hemmschuh vermindern sie die Schnelligkeit der Erdumdrehung. Obgleich diese Verminderung sicherlich stattfindet, ist sie doch zu gering, um sich in der Zeit bemerkbar zu machen, seit welcher Beobachtungen über diesen Gegenstand angestellt werden. Nehmen wir an, dass wir eine Mühle durch die Wirkung der Fluth drehen und Wärme durch die Reibung der Mühlsteine erzeugen, so hat diese Wärme eine vollkommen andere Ursache, als die Wärme, die durch ein anderes Paar Mühlsteine erzeugt wird, die durch einen Bergstrom gedreht werden. Die erstere wird auf Kosten der Erdumdrehung erzeugt; die letztere auf Kosten der Sonnenwärme, die das Wasser zu seiner Quelle erhob *).

602. Dies sind die Grundzüge der Meteortheorie der Sonne, nach der „Dynamik des Himmels" von Mayer. Ich habe mich streng an seine Aussprüche gehalten und in

*) Dynamik des Himmels, S. 38 u. s. f.

den meisten Fällen nahezu seine Worte wiedergegeben. Aber unser Auszug giebt keinen genügenden Begriff von der Festigkeit und Sicherheit, mit der er seine Principien angewendet hat. Er beschäftigt sich mit einer guten Sache, und das einzige Bedenken, welches man bei seiner Theorie haben könnte, bezieht sich auf die Grösse der Wirkung, die er diesen Ursachen zuschreibt. Ich selbst sage nicht gut für diese Theorie, noch verlange ich von Ihnen, dass Sie sie als bewiesen annehmen; und doch würde es ein grosser Irrthum sein, sie nur als Chimäre anzusehen. Es ist eine grossartige Hypothese und verlassen Sie sich darauf, entspricht dieselbe nicht vollständig, oder sehr annähernd der Wahrheit, so wird doch die wahre Theorie nicht weniger seltsam oder überraschend erscheinen *).

*) Während ich diese Blätter für den Druck vorbereitete, hatte ich Gelegenheit, noch einmal die Schriften von Mayer durchzusehen, und zwar mit demselben Interesse, mit dem ich sie das erste Mal gelesen hatte. Dr. Mayer war praktischer Arzt in der kleinen deutschen Stadt Heilbronn, und machte im Jahre 1840 die Beobachtung, dass das venöse Blut eines Fieberkranken in den Tropen röther sei, als unter den nördlicheren Breitegraden. Er ging von dieser Thatsache aus, und während er durch die Pflichten einer mühsamen Praxis beschäftigt war, erhob er sich, augenscheinlich ohne einen ebenbürtigen Geist neben sich zu haben, der ihn unterstützte und ermunterte, zu der Höhe der Gedanken, auf welche wir mit Bezugnahme auf seine Werke hingedeutet haben. Im Jahre 1842 publicirte er seine erste Arbeit „Ueber die Kräfte der unorganischen Natur"; 1845 seine „Organische Bewegung"; 1848 seine „Mechanik der Himmelskörper" und 1851 seine „Betrachtungen über das mechanische Aequivalent der Wärme". Danach wich aber sein zu sehr angespanntes Denkvermögen und eine Wolke trübte den Geist, der so viel vollendet hatte. Der Schatten war indess nur vorübergehend und Dr. Mayer ist jetzt wieder hergestellt. Ich hatte ihn nie gesehen, noch hatten wir schriftlich ein Wort gewechselt. Bescheiden und geräuschlos hat er sein Werk gethan, und nachdem ich von ihm gesprochen habe, wie der Zufall es mir zur Pflicht machte, überlasse ich der Geschichte ruhig die Sorge für seinen Ruf (1862). Ich machte die Bekanntschaft von Dr. Mayer auf der Naturforscher-Versammlung in Zürich, Ende des vorigen August (Dec. 1864).

603. Mayer veröffentlichte seine Abhandlung im Jahre 1848; fünf Jahre nachher entwarf Herr Waterston unabhängig von ihm eine ähnliche Theorie bei der Versammlung der British Association in Hull. Die „Transactions“ der „Royal Society“ von Edinburg für 1854 enthalten einen schönen Aufsatz von Professor William Thomson, in dem die Skizze des Herrn Waterston weiter ausgeführt ist. Er meint, dass die Meteore, die die Vorräthe von Kraft für unser künftiges Sonnenlicht geben sollen, hauptsächlich innerhalb der Erdbahn liegen, und dass wir sie dort sehen, wie das Zodiakallicht „als einen erleuchteten Regen oder vielmehr Wirbelsturm von Steinen“.

604. Aus der Arbeit des Professor Thomson entnehme ich folgende interessante Data, welche die Wärmemenge angeben, die der Rotation der Sonne um ihre Axe äquivalent ist, oder die Wärme, die erzeugt werden würde, wenn eine Hemmung an der Oberfläche der Sonne angebracht werden würde, um ihre Umdrehungsbewegung aufzuhalten; ferner die Wärme, welche aufträte, wenn die Planeten plötzlich in ihrem Umlauf um die Sonne aufgehalten würden, und endlich die Wärme, die durch die Gravitation erzeugt werden könnte, oder die sich entwickeln würde, wenn jeder einzelne Planet in die Sonne fiele. Die Wärmemenge wird durch die Zeit ausgedrückt, während deren sie die Ausstrahlung der Sonne ersetzen würde.

	Gravitationswärme	Rotationswärme	Umlaufswärme
Sonne	. . . .	116 Jahre 6 Tage . .	— —
Merkur	6 Jahre 214 Tage	—	— 15 Tage
Venus	83 „ 227 „	—	— 99 „
Erde	94 „ 303 „	—	— 81 „
Mars	12 „ 252 „	—	— 7 „
Jupiter	32240 „ — „	—	14 Jahre 144 „
Saturn	9650 „ — „	—	2 „ 127 „
Uranus	1610 „ — „	—	— 71 „
Neptun	1890 „ — „	—	— — „

605. So würde, wenn der Planet Merkur auf die Sonne träfe, die erzeugte Wärmemenge die Sonnenausstrahlung für fast 7 Jahre decken; während der Anstoss des Jupiter den Verlust von 32240 Jahren decken würde. Unsere Erde würde einen Zuschuss von 95 Jahren liefern. Die Wärme der Rotation der Sonne würde die Sonnenausstrahlung auf 116 Jahre decken; während die totale Wärme der Gravitation (die durch das Fallen der Planeten auf die Sonne erzeugte Wärme) die Ausstrahlung für 45589 Jahre decken würde.

606. Was auch immer das endliche Schicksal dieser hier entworfenen Theorie sein möge, so ist es immer ein grosser Schritt, dass man die Bedingungen angeben kann, die sicher eine Sonne erzeugen würden, — dass man in der Kraft der Schwere, die auf die dunkle Materie wirkt, die Quelle entdeckt hat, aus der die Sterne am Himmel entstanden sein können. Denn, mag die Sonne durch den Zusammenstoss der kosmischen Massen erzeugt und ihre Ausstrahlung durch denselben erhalten werden — mag die innere Wärme der Erde der Rest von derjenigen sein, die sich durch den Stoss der kalten, dunklen Asteroiden entwickelt hat oder nicht, so kann doch kein Zweifel über die Zulänglichkeit der Ursache herrschen, der die beschriebenen Wirkungen zugeschrieben werden. Sonnenlicht und Sonnenwärme liegen in der Kraft gebunden, die einen Apfel zur Erde zieht. „Einfach als Unterschied in der Stellung der anziehenden Massen geschaffen, war die lebendige Kraft der Gravitation die ursprüngliche Form für alle lebendige Kraft des Universums. So sicher, wie die Gewichte einer Uhr bis zu ihrem tiefsten Punkte sinken, von dem sie nicht wieder heraufsteigen können, wenn ihnen nicht aus der noch nicht versiegten Quelle neue lebendige

Kraft mitgetheilt wird, so sicher muss im Laufe der Jahrhunderte ein Planet nach dem anderen sich der Sonne nähern. So wie jeder in eine Entfernung von einigen hunderttausend Meilen von ihrer Oberfläche kommt, wird er, wenn er noch weissglühend ist, geschmolzen und durch die strahlende Wärme in Dampf verwandelt. Und selbst, wenn sich eine Kruste um ihn gebildet hat und er aussen dunkel und kalt geworden ist, kann der verurtheilte Planet seinem feurigen Ende nicht entgehen. Wenn er nicht, wie eine Sternschnuppe, durch die Reibung bei seinem Durchgang durch ihre Atmosphäre weissglühend wird, so muss seine erste Berührung mit ihrer Oberfläche einen gewaltigen Ausbruch von Licht und Wärme erzeugen. Sei es auf einmal, oder sei es nach zwei oder drei Sprüngen, gleich denen einer Kanonenkugel, die von der Oberfläche der Erde oder des Wassers abprallt, endlich muss doch die ganze Masse zerbrechen, schmelzen und mit einem Krach verdampfen, wobei sie in einem Augenblick mehrere tausend Mal mehr Wärme erzeugt als eine Kohle von derselben Grösse bei ihrer Verbrennung" *).

607. Helmholtz, der ausgezeichnete deutsche Physiologe, Physiker und Mathematiker, hat eine etwas andere Ansicht von dem Ursprung und der Erhaltung des Sonnenlichts und der Wärme. Er geht von der Nebelhypothese von Laplace aus, und nimmt dabei zuerst an, dass die neblige Materie äusserst dünn gewesen sei, und bestimmt so die durch ihre Verdichtung zu dem jetzigen Sonnensysteme erzeugte Wärmemenge. Nimmt man an, dass die specifische Wärme der sich verdichtenden Masse dieselbe ist, wie die des Wassers, so würde die Wärme der Verdichtung genügen, um ihre Temperatur

*) Thomson und Tait in „Good Words" October 1862, p. 606.

um 28,000,000 Grad zu erhöhen. Der grösste Theil dieser Wärme ist seit Jahrhunderten schon in den Weltenraum verstreut. Die intensivste irdische Verbrennung, die wir kennen, ist die des Sauerstoffs und Wasserstoffs, und die Temperatur einer reinen Hydrooxygenflamme ist 8061° C. Die Temperatur einer in der Luft brennenden Wasserstoffflamme ist 3259° C; während die des Kalklichtes, das mit sonnengleichem Glanz leuchtet, auf 2000° C. geschätzt wird. Welchen Begriff können wir uns nun von einer Temperatur machen, die mehr als dreizehntausend mal höher ist als die des Drummond'schen Lichtes? Bestände unser System aus reiner Kohle und verbrennte, so würde die durch die Verbrennung erzeugte Wärme nur $\frac{1}{3500}$ von derjenigen betragen, die durch die Verdichtung der nebligen Materie bei der Bildung unseres Sonnensystems entwickelt wurde. Helmholtz nimmt an, dass diese Verdichtung fortdauert; dass die Oberflächentheile der Sonne noch stets nach ihrem Centrum hin fallen, und so beständig Wärme entwickelt wird. Er zeigt sodann durch Berechnung, dass, wenn sich der Durchmesser der Sonne nur um $\frac{1}{10,000}$ seiner jetzigen Länge zusammenzöge, dadurch eine Wärmemenge erzeugt würde, die die Sonnenausstrahlung für 2000 Jahre zu decken vermöchte, während die Verdichtung der Sonne von ihrer jetzigen geringen Dichtigkeit zu der der Erde ihr Aequivalent in einer Wärmemenge finden würde, die die jetzige Sonnenausstrahlung für 17,000,000 Jahre decken könnte.

608. „Aber," fährt Helmholtz fort, „wenn auch die Kraftvorräthe unseres Planetensystems so ungeheuer gross sind, dass sie durch die fortdauernden Ausgaben inner-

halb der Dauer unserer Menschengeschichte nicht merklich verringert werden konnten, wenn sich auch die Länge der Zeiträume noch gar nicht ermessen lässt, welche vorbeigehen müssen, ehe merkliche Veränderungen in dem Zustande des Planetensystems eintreten können, so weisen doch unerbittliche mechanische Gesetze darauf hin, dass diese Kraftvorräthe, welche nur Verlust, keinen Gewinn erleiden können, endlich erschöpft werden müssen. Sollen wir darüber erschrecken? Die Menschen pflegen die Grösse und Weisheit des Weltalls danach abzumessen, wieviel Dauer und Vortheil es ihrem eigenen Geschlechte verspricht, aber schon die vergangene Geschichte des Erdballs zeigt, einen wie winzigen Augenblick in seiner Dauer die Existenz des Menschengeschlechtes ausgemacht hat. Ein wendisches Thongefäss, ein römisches Schwert, was wir im Boden finden, erregt in uns die Vorstellung grauen Alterthums; was uns die Museen Europas von den Ueberbleibseln Aegyptens und Assyriens zeigen, sehen wir mit schweigendem Staunen an, und verzweifeln, uns zu der Vorstellung einer so weit zurückliegenden Zeitperiode aufzuschwingen, und doch musste das Menschengeschlecht offenbar schon Jahrtausende bestanden und sich vermehrt haben, ehe die Pyramiden und Ninive gebaut werden konnten. Wir schätzen die Menschengeschichte auf 6000 Jahre, aber so unermesslich uns dieser Zeitraum auch erscheinen mag, wo bleibt sie gegen die Zeiträume, während welcher die Erde schon eine lange Reihenfolge jetzt ausgestorbener, einst üppiger und reicher Thier- und Pflanzengeschlechter, aber keine Menschen trug, während welcher in unserer Gegend der Bernsteinbaum grünte, und sein kostbares Harz in die Erde und das Meer träufelte, wo in Sibirien, Europa und dem Norden Amerikas tropische Palmenhaine wuchsen, Riesen-

eidechsen und später Elephanten hausten, deren mächtige Reste wir noch im Erdboden begraben finden? Verschiedene Geologen haben nach verschiedenen Anhaltspunkten die Dauer jener Schöpfungsperiode zu schätzen gesucht und schwanken zwischen 1 und 9 Millionen von Jahren. Und wiederum war die Zeit, wo die Erde organische Wesen erzeugte, nur klein gegen die, wo sie ein Ball geschmolzenen Gesteins gewesen ist. Für die Dauer ihrer Abkühlung von 2000 bis 200 Grad ergeben sich nach Versuchen von Bischof über die Erkaltung geschmolzenen Basalts etwa 350 Millionen Jahre. Und über die Zeit, wo sich der Ball des Urnebels zum Planetensystem verdichtete, müssen unsere kühnsten Vermuthungen schweigen. Die bisherige Menschengeschichte war also nur eine kurze Welle in dem Ocean der Zeiten; für viel längere Reihen von Jahrtausenden, als unser Geschlecht bisher erlebt hat, scheint der jetzige seinem Bestehen günstige Zustand der unorganischen Natur gesichert zu sein, so dass wir für uns und lange, lange Reihen von Generationen nach uns nichts zu fürchten haben. Aber noch arbeiten dieselben Kräfte der Luft, des Wassers und des vulkanischen Innern an der Erdrinde weiter, welche frühere geologische Revolutionen verursacht, und eine Reihe von Lebensformen nach der andern begraben haben. Sie werden wohl eher den jüngsten Tag des Menschengeschlechtes herbeiführen, als jene weit entlegenen kosmischen Veränderungen, die wir früher besprachen, und uns zwingen, vielleicht neuen vollkommeneren Lebensformen Platz zu machen, wie uns und unseren jetzt lebenden Mitgeschöpfen einst die Rieseneidechsen und Mammuths Platz gemacht haben."

609. In Bezug auf die Wirkungen der Sonne auf die Erde, ihren Ocean und ihre Atmosphäre schrieb Sir John Herschel vor 32 Jahren folgende bemerkenswerthe Zei-

len*): „Die Sonnenstrahlen sind die letzte Quelle für fast jede Bewegung, die auf der Oberfläche der Erde geschieht. Durch ihre Wärme werden alle Winde erzeugt, und alle die Störungen im elektrischen Gleichgewichte der Atmosphäre, die die Erscheinung des Blitzes und wahrscheinlich auch den Erdmagnetismus und das Nordlicht hervorrufen. Ihre belebende Wirkung befähigt Pflanzen, aus der unorganischen Materie Stoff zu sammeln und ihrerseits die Nahrung der Menschen und Thiere und die Quelle all der grossen Niederlagen von Kraftvorrath zu werden, der für den menschlichen Gebrauch in unseren Kohlenlagern ruht. Sie lässt die Wasser in Dampfform durch die Luft circuliren und das Land bewässern und Quellen und Flüsse erzeugen. Sie ruft alle Störungen des chemischen Gleichgewichts in den Elementen der Natur hervor, die durch eine Reihe von Verbindungen und Zersetzungen neue Produkte erzeugen und einen Stoffwechsel bewirken. Selbst das langsame Zerfallen der festen Bestandtheile der Oberfläche der Erde, in der hauptsächlich ihre geologischen Veränderungen bestehen, ist einerseits fast ganz dem Abreiben durch Wind und Regen und dem Wechsel von Frost und Hitze zuzuschreiben; andererseits dem fortdauernden Anprall der Meereswogen, welche von den durch die Strahlen der Sonne erregten Winden bewegt werden. Die Wirkung von Ebbe und Fluth (welche auch theilweise dem Einfluss der Sonne zukommt) ist hier nur von verhältnissmässig geringem Einfluss. Die Wirkung der Meeresströmungen (die durch diesen Einfluss hauptsächlich erzeugt werden) ist, wenn auch gering im Abschleifen, doch mächtig im Vertheilen und Weitertragen der abgeriebenen Materie; und wenn wir die so erzeugte

*) Umriss der Astronomie 1833.

mächtige Fortführung der Materie betrachten, die Vermehrung des Drucks auf grossen Strecken im Bett des Oceans und die Verminderung auf den entsprechenden Theilen des Landes, so wird es uns nicht schwer zu begreifen, wie die elastische Kraft der unterirdischen Feuer, die auf der einen Seite zurückgehalten, auf der anderen befreit wird, an Orten ausbrechen kann, wo der Widerstand gerade nur der Kraft gleich ist, die sie zurückhält, und so selbst die Erscheinung der vulkanischen Thätigkeit unter das allgemeine Gesetz des Einflusses der Sonne kommt."

610. Diese schöne Stelle bedarf nur der Verbindung mit den neueren Untersuchungen, um auch in ihr die Anwendung des Gesetzes von der Erhaltung der Kraft auf die organische und unorganische Natur wiederzuerkennen. Neuere Entdeckungen haben uns gezeigt, dass die Winde und Flüsse ihren bestimmten Wärmewerth haben, und dass, um ihre Bewegung zu erzeugen, eine entsprechende Menge von Sonnenwärme verbraucht worden ist. So lange sie als Winde und Flüsse bestehen, hat die zu ihrer Erzeugung verbrauchte Wärme aufgehört, Wärme zu sein, da sie in mechanische Bewegung verwandelt worden ist; wenn aber diese Bewegung aufhört, so ersteht die Wärme wieder, die sie erzeugt hatte. Ein Fluss, der von einer Höhe von 7720 Fuss hinabfliesst, erzeugt eine Wärmemenge, die seine eigene Temperatur um 5° C. erhöhen könnte, und diese Wärmemenge wurde der Sonne entzogen, um die Materie des Flusses auf die Höhe zu erheben, von der er herunterkommt. So lange der Fluss auf den Höhen bleibt, sei es in dem festen Zustand als Gletscher oder in dem flüssigen als See, so lange bleibt die Wärme, die die Sonne ausgegeben, um ihn zu heben, aus dem Weltall verschwunden. Sie ist bei der Hebung verbraucht worden. Sobald aber der Fluss seinen Lauf

abwärts antritt und dem Widerstand seines Betts begegnet, so fängt die Wärme, die zu seiner Erhebung verwendet wurde, wieder an sich zu zeigen. In der That kann das geistige Auge die Ausstrahlung der Wärme von ihrer Quelle an verfolgen, wie sie sich durch den Aether als schwingende Bewegung bis zum Ocean fortpflanzt, wie sie dort aufhört, Schwingung zu sein und als lebendige Kraft unter den Molekülen des Wasserdampfs auftritt; und weiter, wie auf den Gipfeln der Berge die bei der Verdampfung absorbirte Wärme bei der Verdichtung wieder ausgegeben wird, während die von der Sonne ausgegebene Wärme, welche das Wasser auf seine jetzige Höhe hob, noch unersetzt ist. Diese letztere finden wir bis auf die letzte Einheit wiederersetzt durch die Reibung des Flusses am Strombett, auf dem Boden der Wasserfälle, wo der Sturz des Stromes plötzlich aufgehalten wird, in der Wärme der vom Fluss gedrehten Maschine, im Funken des Mühlsteins, unter dem Hammer des Bergmanns, in der Sägemühle der Alpen, im Butterfass der Sennhütte, in den Stützen der Wiege, in der der Bergbewohner sein Kind durch Wasserkraft in den Schlaf wiegt. Alle diese hier angegebenen Arten von mechanischer Bewegung sind einzig und allein Bruchtheile der Wärmebewegung, die ursprünglich der Sonne entzogen wurde; an jedem Punkt, wo die mechanische Bewegung zerstört und vermindert wurde, ist es die Sonnenwärme, die wieder hergestellt wird.

611. Wir haben uns bis hierher mit den sichtbaren Bewegungen und Kräften beschäftigt, die die Sonne erzeugt und mittheilt; aber es giebt noch andere Bewegungen und andere lebendige Kräfte, deren Beziehungen nicht so klar sind. Die Bäume und Pflanzen wachsen auf der Erde und erzeugen bei ihrer Verbrennung Wärme, ver-

mittelst deren wir grosse Mengen von mechanischer Kraft hervorbringen. Welches ist die Quelle dieser Kraft? Sir John Herschel beantwortete diese Frage sehr allgemein, während Dr. Mayer und Professor Helmholtz ihre genaue Beziehung zur allgemeineren Frage der Erhaltung der Kraft bestimmten. Ich will versuchen, ihre Antworten in einfachen Worten wiederzugeben. Sie sehen diesen Eisenrost, der durch das Zusammentreten der Atome des Eisens und des Sauerstoffs entstanden ist; Sie können dieses durchsichtige kohlensaure Gas freilich nicht sehen, aber Sie wissen doch, dass es durch die Verbindung von Kohle und Sauerstoff gebildet ist. Diese so verbundenen Atome gleichen einem Gewichte, das auf der Erde ruht; ihre gegenseitige Anziehung ist befriedigt. Aber wie ich ein Gewicht aufwinden kann, um es für ein wiederholtes Niedersinken vorzubereiten, so können auch diese Atome „aufgezogen", von einander getrennt und so befähigt werden, den Verbindungsprocess zu wiederholen.

612. Die Kohlensäure ist das Material, dem die Pflanze den Kohlenstoff entnimmt, während das Wasser die Substanz ist, von der sie den Wasserstoff erhält. Der Sonnenstrahl zieht das Gewicht in die Höhe; er ist die Ursache, die die Atome trennt, den Sauerstoff frei macht und den Kohlenstoff und den Wasserstoff in der Holzfaser zusammenführt. Fallen die Sonnenstrahlen auf eine Sandfläche, so wird der Sand erwärmt und strahlt zuletzt so viel Wärme aus, wie er erhält; fallen aber dieselben Strahlen auf einen Wald, dann ist die abgegebene Wärmemenge etwas geringer als die erhaltene, denn ein Theil der Sonnenstrahlen ist zum Bau der Bäume verwendet worden. Wir haben schon gesehen, wie die Wärme bei dem gewaltsamen Trennen der Körperatome verbraucht wird, und wie sie wieder erscheint, wenn die Anziehung

der getrennten Atome wirder ins Spiel tritt*). Dieselben Betrachtungen, die wir damals auf die Wärme anwandten, müssen wir jetzt für das Licht anstellen, denn es ist auf Kosten des Sonnenlichts, dass die chemische Zersetzung stattfindet. Ohne die Sonne kann die Reduktion der Kohlensäure und des Wassers nicht bewirkt werden; und bei dieser Wirkung wird eine Menge von lebendiger Kraft der Sonne verzehrt, die genau der gethanen molekularen Arbeit äquivalent ist.

613. Die Verbrennung ist die Umkehrung des Reduktionsprocesses und alle Kraft, die in der Pflanze eingeschlossen ist, erscheint wieder als Wärme, wenn die Pflanze verbrannt wird. Ich entzünde dieses Stück Baumwolle, es lodert auf; der Sauerstoff verbindet sich wieder mit seiner Kohle und eine Wärmemenge wird ausgegeben, die der entspricht, welche ursprünglich von der Sonne geopfert wurde, um das Stück Baumwolle zu bilden. So ist es auch mit dem „Vorrath an Arbeitskraft", der in unseren Kohlenlagern aufgehäuft ist; es ist nur die Arbeitskraft der Sonnenstrahlen in fixirter Gestalt. Wir fördern jährlich aus unseren Gruben 48 Millionen Tonnen Kohle, deren mechanisches Aequivalent von fast fabelhafter Grösse ist. Die Verbrennung eines einzigen Pfundes Kohle in der Minute ist gleich der Arbeit von 300 Pferden in derselben Zeit. 108 Millionen Pferde müssten Tag und Nacht mit stets ungeschwächter Kraft ein Jahr hindurch arbeiten, um eine Arbeit zu vollbringen, die der lebendigen Kraft äquivalent ist, welche die Sonne während der Kohlenperiode in der Förderung eines Jahres in unseren Kohlengruben niederlegte.

614. Je weiter wir diesen Gegenstand verfolgen, desto

---

*) Kapitel V.

interessanter und wunderbarer erscheint er uns. Ich habe Ihnen gezeigt, wie eine Sonne durch die alleinige Ausübung der Gravitationskraft erzeugt werden kann, wie durch den Zusammenstoss von kalten, dunkeln, planetarischen Massen das Licht und die Wärme unseres centralen Himmelskörpers, wie auch der Fixsterne erhalten werden kann. Hier aber finden wir, wie die physikalischen Kräfte, die der Wirkung der Schwere auf die todte Materie entsprungen sind oder entspringen können, sogar als die Grundlage für die Bedingungen des Lebens auftreten. Wir finden im Licht und in der Wärme der Sonne den eigentlichen Urquell des vegetabilischen Lebens.

615. Wir dürfen nicht bei der vegetabilischen Welt stehen bleiben, denn sie ist, mittelbar oder unmittelbar, die Quelle alles thierischen Lebens. Einige Thiere nähren sich unmittelbar von Pflanzen, andere von ihren pflanzenfressenden Mitgeschöpfen; aber zuletzt entnehmen Alle Leben und Kraft der Pflanzenwelt; Alle können also, wie Helmholtz bemerkte, ihre Abstammung von der Sonne herleiten. Im thierischen Körper wird die Kohle und der Wasserstoff der Pflanze wieder mit dem Sauerstoff in Berührung gebracht, von dem sie sich getrennt hatten, und der jetzt durch die Lungen eingeführt wird. Eine Wiedervereinigung findet Statt und die thierische Wärme ist die Folge. Abgesehen von der Intensität besteht kein Unterschied zwischen der Verbrennung, die in uns vorgeht, und der eines gewöhnlichen Feuers. Die Produkte der Verbrennung sind in beiden Fällen dieselben, nämlich Kohlensäure und Wasser. Betrachten wir nun die physikalische Seite dieser Frage, so sehen wir, dass die Bildung der Pflanze der Process des Aufwindens, die Bildung des Thieres der Process des Ablaufens ist. Dies ist der Kreislauf der Natur im Thier- und Pflanzenleben.

616. Enthält denn aber unser menschlicher Körper nicht etwas, das ihn von der Kette der Nothwendigkeit befreit, die das Gesetz der Erhaltung um die organische Natur schlingt? Sehen Sie zwei gleich gesunde und gleich kräftige Männer einen Berg erklimmen, der eine wird ermüdet zu Boden sinken und den Versuch aufgeben, während der andere mit festem Willen die Spitze erreicht. Hat nicht das Wollen in diesem Falle eine schöpferische Kraft? Physikalisch betrachtet beherrscht dasselbe Gesetz die Wirkungen der Dampfmaschine und des Bergbesteigers. Für jedes Pfund, das die erstere hebt, verschwindet eine entsprechende Menge ihrer Wärme, und bei jedem Schritt, den der Bergbesteiger aufwärts macht, verliert sein Körper eine Wärmemenge, die gleichzeitig seinem eigenen Gewicht und der Höhe, die er erstiegen, entspricht. Der feste Wille kann von dem Kraftvorrath entnehmen, den die Nahrung giebt, aber schaffen kann er nichts. Die Thätigkeit des Willens ist zu benutzen und zu leiten, aber nicht zu schaffen.

617. Ich sagte eben, dass, wenn ein Bergbesteiger eine Höhe hinaufsteigt, Wärme aus seinem Körper verschwindet; dasselbe findet bei Thieren Statt, die arbeiten. Es würde hieraus scheinen, als ob der Körper während des Steigens oder Arbeitens kälter werden müsste, während die allgemeine Erfahrung beweist, dass er wärmer wird. Die Lösung dieses scheinbaren Widerspruchs liegt in der Thatsache, dass bei einer Anstrengung der Muskeln eine vermehrte Einathmung und vermehrte chemische Wirkung eintritt. Die Blasebälge, die den Sauerstoff in das Feuer führen, werden schärfer angeblasen; obgleich also Wärme während unseres Steigens wirklich verschwindet, so wird doch der Verlust durch die vermehrte Thätigkeit des chemischen Processes mehr als gedeckt.

618. Wärme wird in einem Muskel bei seiner Zusammenziehung entwickelt, wie die Herren Becquerel und Breschet mittelst einer eigenthümlichen Form unserer thermo-elektrischen Säule bewiesen haben. Die Herren Billroth und Fick fanden, dass bei Personen, die am Tetanus starben, die Temperatur der Muskeln oft fast 6,1°C. höher war, als die normale Temperatur. Herr Helmholtz beobachtete, dass die Muskeln von todten Fröschen beim Zusammenziehen Wärme erzeugten; und ein ausserordentlich wichtiges Resultat für den Einfluss der Contraction ist von Professor Ludwig in Wien und seinen Schülern gefunden worden. Sie wissen, dass das Blut in den Arterien mit Sauerstoff beladen ist; wenn dieses Blut durch einen Muskel in seinem gewöhnlichen nichtcontrahirten Zustande fliesst, so wird es in venöses Blut verwandelt, das noch $7\frac{1}{2}$ Procent Sauerstoff behält. Wenn aber das Blut der Arterien durch einen contrahirten Muskel geht, so wird ihm sein Sauerstoff fast ganz entzogen, die übrigbleibende Menge beträgt in einigen Fällen nur $1\frac{3}{10}$ Proc. Als Resultat der vermehrten Verbrennung in den Muskeln, wenn sie in Thätigkeit sind, beobachten wir eine Zunahme der von den Lungen ausgeathmeten Kohlensäure. Dr. Edward Smith hat gezeigt, dass die Menge dieses Gases, wenn es in Zeiten von grosser Anstrengung ausgeathmet wird, fünf Mal grösser ist, als im Zustande der Ruhe.

619. Wenn wir nun die Temperatur des Körpers durch Arbeit vermehren, so wird nur ein Theil des Ueberschusses der erzeugten Wärme zur Vollbringung der Arbeit benutzt. Nehmen wir an, dass eine gewisse Menge Nahrung im Körper eines Menschen im Zustande der Ruhe oxydirt, d. h. verbrannt wird, so ist die erzeugte Wärmemenge genau dieselbe, die wir durch die

direkte Verbrennung der Nahrung bei einem gewöhnlichen Feuer erhalten hätten. Nehmen wir aber an, dass diese Oxydation der Nahrung vor sich geht, während der Mensch arbeitet, dann würde die in dem Körper erzeugte Wärme geringer sein als die, die wir durch direkte Verbrennung erhielten. Es fehlt eine Wärmemenge, die der gethanen Arbeit äquivalent ist. Bestände z. B. die Arbeit in der Entwicklung von Wärme durch Reibung, so würde die so ausserhalb des menschlichen Körpers erzeugte Wärmemenge genau dieselbe sein, die im Körper fehlt, dass also die ganze erzeugte Wärme der durch direkte Verbrennung erhaltenen gleich ist.

620. Es ist natürlich leicht, die Wärmemenge zu bestimmen, die von einem Bergsteiger verbraucht wird, wenn er seinen eigenen Körper bis zu irgend einer Höhe erhebt. In leichter Kleidung wiege ich 140 Pfund; welches ist die von mir verbrauchte Wärmemenge, wenn ich von der Meeresoberfläche bis auf die Spitze des Mont Blanc steige? Die Höhe des Berges beträgt 15,774 Fuss, und für jedes Pfund meines Körpers, das um 772 Fuss gehoben wird, wird eine Wärmemenge verbraucht, die die Temperatur eines Pfundes Wasser um $^5/_9$° C. erhöhen konnte. Wenn ich folglich eine Höhe von 15,774 Fuss oder von $20^1/_2$ Mal 772 Fuss ersteige, so verbrauche ich eine Wärmemenge, die genügt, um die Temperatur von 140 Pfund Wasser um 11,4° C. zu erhöhen. Könnte ich andererseits mich auf die Bergspitze setzen und bis an die Meeresfläche hinunter gleiten, so würde die durch das Hinuntergleiten erzeugte Wärmemenge genau dieselbe sein, wie die beim Hinaufsteigen verbrauchte. Ich habe mehr als einmal Gelegenheit gehabt, Ihre Aufmerksamkeit auf die lebendige Kraft der molekularen Vorgänge zu lenken, und ich möchte es hier noch

einmal wiederholen. Die Anstrengung, die nöthig ist, um die Spitze des Mont Blanc zu erreichen, ist, unserem Gefühle nach, sehr gross. Doch würde die lebendige Kraft, die dieses Werk vollbringt, der Verbrennung von ungefähr nur 2 Unzen Kohle entnommen werden können. Bei einer ausgezeichneten Dampfmaschine wird ungefähr ein Zehntel der benutzten Wärme in Arbeit umgewandelt; die übrigen neun Zehntel werden an die Luft, an den Condensator u. s. f. abgegeben und verloren. Beim rüstigen Bergsteigen wird ein Fünftel der Wärme, die der Oxydation der Nahrung zuzuschreiben ist, in Arbeit verwandelt; daher ist der thierische Körper als Arbeitsmaschine weit vollkommener als die Dampfmaschine.

621. Wir sehen indess, dass die Dampf- und die thierische Maschine diese Kräfte derselben Quelle entnehmen oder entnehmen können. Wir können eine Dampfmaschine durch die direkte Verbrennung der Substanzen treiben, die wir als Nahrung benutzen; und wäre unser Magen so eingerichtet, dass wir Kohle verdauen könnten, so würden wir, wie Helmholtz*) bemerkt hat, unsere lebendige Kraft aus dieser Substanz entnehmen können. Das allgemeine Gesetz, welches all diesen Betrachtungen zu Grunde liegt, ist, dass nichts geschaffen wird. Wir können keine Bewegung herstellen, der nicht ein gleichzeitiges Erlöschen einer anderen Bewegung entspricht. So complicirt auch die Bewegungen der Thiere sind, welchem Wechsel auch immer die Moleküle unserer Nahrung in unserm Körper unterliegen, die ganze lebendige Kraft des thierischen Lebens besteht nur in dem Falle der Atome des Kohlenstoffs, Wasserstoffs und Stickstoffs von der Höhe, die sie als Nahrung einnehmen, zu der

*) Phil. Mag. 1856. Vol. IX, p. 510.

Tiefe, die sie einnehmen, wenn sie den Körper verlassen. Was hat aber die Kohle und den Wasserstoff veranlasst zu fallen? Was erhob sie zuerst auf die Höhe, die den Fall ermöglichte? Wir haben schon gehört, dass es die Sonne ist. Auf ihre Kosten wird thierische Wärme erzeugt und thierische Bewegung vollzogen. Die Sonne wird nicht nur abgekühlt, damit wir unser Feuer haben können, sondern auch, um uns die Kräfte zu unserer Bewegung zu liefern.

622. Diese Betrachtung ist von so grosser Wichtigkeit und wird so sicher in der Zukunft den ganzen Ideengang der Naturforscher leiten, dass ich noch etwas länger bei ihr verweilen will. Ich will mich bemühen, Ihnen durch Bezugnahme auf analoge Processe eine klarere Vorstellung von der Rolle zu geben, die die Sonne in ihrer belebenden Thätigkeit spielt. Wir können Wasser durch mechanische Thätigkeit auf eine bedeutende Höhe erheben, und dieses Wasser kann bei seinem Fall durch seine eigene Schwere eine grosse Formverschiedenheit annehmen und verschiedene Arten von mechanischer Arbeit vollbringen. Man kann es in Wasserfällen fallen, in Springbrunnen aufsteigen, in den complicirtesten Wirbeln sich drehen oder in einem gleichmässigen Bett entlang fliessen lassen. Es kann überdies dazu verwendet werden, Räder zu drehen, Hämmer zu schwingen, Korn zu mahlen oder Pfähle einzurammen. Es wird aber keine Kraft durch das Hinabströmen des Wassers geschaffen, Alle Kraft, die es liefert, ist nur die Vertheilung und die Verwendung der ursprünglichen lebendigen Kraft, die es so hoch hob. So ist es auch mit den zusammengesetzten Bewegungen der Uhr; sie werden ganz der Hand entnommen, die sie aufzieht. Der Gesang des kleinen schweizerischen Vogels in der allgemeinen Ausstellung

im Jahre 1862, das Zittern seiner künstlichen Organe, die Schwingungen der Luft, die das Ohr als Melodie berührten, das Flattern seiner kleinen Flügel und alle übrigen Bewegungen des hübschen Automaten wurden ebenfalls nur der Kraft entnommen, durch die er aufgezogen wurde. Er giebt nichts aus, was er nicht erhalten hätte. In diesem bestimmten Sinne ist, wie Sie sehen, die lebendige Kraft des Menschen und der Thiere nur die Vertheilung und Verwendung einer Kraft, die ursprünglich von der Sonne ausging. In der Pflanze wird, wie wir bemerkt haben, der Process der Erhebung oder des Aufziehens vollbracht; beim Thiere zeigen sich, während des Hinuntersinkens des Kohlenstoffs, des Wasserstoffs und Stickstoffs zu der Tiefe, von der sie ausgingen, die Lebenskräfte.

623. Die Frage ist aber noch nicht erledigt. Das Wasser, das wir zu unserem ersten Beispiel benutzten, erzeugt alle Bewegung, die beim Hinabfliessen sich zeigt, aber die Form der Bewegung hängt von dem Wesen des Mechanismus ab, der in den Weg des Wassers gestellt wird. Und so wird die primäre Wirkung der Sonnenstrahlen durch die Atome und Moleküle, unter die ihre Kraft vertheilt ist, bestimmt. Molekulare Kräfte bestimmen die Form, die die lebendige Kraft der Sonne annehmen soll. Einmal ist diese Kraft durch den Mechanismus der Atome so bedingt, dass sie auf die Bildung eines Kohlkopfs hinausläuft; ein ander Mal so, dass sie eine Eiche bildet. Dasselbe gilt von der Verbindung der Kohle mit dem Sauerstoff; die Form ihrer Verbindung wird durch den molekularen Mechanismus bestimmt, durch den die vereinigende Kraft wirkt. Einmal kann die Wirkung die Bildung eines Menschen sein, ein anderes Mal die Bildung einer Heuschrecke.

624. Die Materie unserer Körper ist die der unorganischen Natur. Es ist keine Substanz in dem thierischen Gewebe, die nicht ursprünglich dem Felsen, dem Wasser und der Luft entstammt. Sind denn die Kräfte der organischen Materie in ihrer Art von denen der unorganischen verschieden? Die ganze Naturforschung drängt heutigen Tages zur Verneinung dieser Frage, und versucht zu zeigen, dass es die Richtung und die Mischung von Kräften ist, die auch der unorganischen Natur gleichmässig angehören, welche in der organischen Welt das Geheimniss und das Wunderbare der Lebenskraft bilden.

625. Wenn wir von den materiellen Verbindungen sprechen, deren Resultat die Bildung des Körpers und des Gehirns des Menschen ist, so können wir es unmöglich unterlassen, auch einen Blick auf die Erscheinungen des Bewusstseins und des Denkens zu werfen. Die Wissenschaft hat kühne Fragen zu stellen gewagt und wird ohne Zweifel damit fortfahren. Es werden sicher von den Menschen einer späteren Zeit Probleme aufgestellt werden, die, würden sie jetzt ausgesprochen, den Meisten als ein Erzeugniss des Wahnsinns gelten würden. Obgleich indess der Fortschritt und die Entwicklung der Wissenschaft unbegrenzt erscheinen möchten, so ist doch augenscheinlich eine Region für sie unerreichbar eine Grenze, die sie nicht einmal berühren kann. Sind die Massen und die Entfernungen der Planeten gegeben, so können wir daraus auf die Störungen schliessen, die auf ihren gegenseitigen Anziehungen beruhen. Ist die Beschaffenheit einer Störung in Wasser, Luft oder Aether gegeben, so können wir aus den Eigenschaften des Mediums schliessen, wie seine Theilchen bewegt werden. Bei diesen Untersuchungen haben wir es mit physikalischen Gesetzen zu thun und unser Geist folgt dem Faden, der die

Erscheinungen von Anfang bis zu Ende verbindet. Versuchen wir aber, durch einen gleichen Process aus dem Reiche der Natur zu dem des Gedankens überzugehen, so stossen wir auf ein Problem, dessen Verständniss uns jetzt noch, auch bei Anspannung aller unserer Kräfte, verschlossen ist. Wir können immer und immerfort über diese Sache nachdenken, sie wird sich jeder geistigen Vorstellung entziehen. So gross das Gebiet der Wissenschaft auch ist, so hat es doch seine Grenzen, über die wir hinaus vergeblich in die Gegenden jenseits schauen. Wir können uns die Materie in all ihren Formen zu eigen machen, nicht nur wie sie in der äusseren Natur erscheint, sondern auch wie sie in den Muskeln, im Blut und selbst im Gehirn des Menschen erscheint; da ist sie unser, um mit ihr Versuche und Spekulationen anzustellen. Verwerfen wir den Gedanken einer „Lebenskraft", so könnten wir vielleicht die physikalischen Erscheinungen des Lebens auf Anziehung und Abstossung zurückführen. Wenn wir aber so die Naturlehre erschöpft und ihre äusserste Grenze erreicht haben, liegt noch das grösste Geheimniss vor uns. Und so wird es ewig vor uns liegen — ewig über das Verständniss des menschlichen Geistes hinaus — und die Dichter der späteren Jahrhunderte werden mit Recht sagen, dass

Wir von solchem Stoffe sind,
Aus dem man Träume bildet, und unser kleines Leben
Von einem Schlaf umgeben sei.

626. Und doch, werden die Entdeckungen und Verallgemeinerungen der neueren Wissenschaft dem Geiste richtig dargestellt, so bilden sie ein grossartigeres Gedicht, als je die Phantasie geschaffen hat. Der Naturforscher der Jetztzeit kann in Ideen leben, gegen die Milton's Phan-

tasie völlig verschwindet. Sie sind so gross und staunenswerth, dass eine gewisse Charakterstärke bei ihrer Betrachtung dazu gehört, um uns vor Verirrung zu bewahren. Betrachten Sie die Kräfte, die unserer Welt innewohnen, die gefüllten Schätze unserer Kohlenfelder, unsere Winde und Flüsse, unsere Flotten, Armeen und Geschütze! Was sind sie? Sie sind alle durch einen kleinen Theil der lebendigen Kraft der Sonne erzeugt, der nicht einmal $\frac{1}{2,300,000,000}$ der ganzen beträgt. Es ist dies der ganze Bruchtheil der Sonnenkraft, der von der Erde aufgefangen wird, und wir verwandeln nur einen kleinen Theil dieses Theils in mechanische Kraft. Multipliciren wir alle unsere Kräfte mit Millionen von Millionen, so erreichen wir doch noch nicht die Ausgabe der Sonne. Und doch haben wir trotz dieser ungeheuren Abgabe in historischer Zeit noch keine Abnahme ihres Vorraths bemerkt. Selbst bei Messung mit unseren grössten irdischen Maassen ist ein solcher Behälter von Kraft unendlich; und doch ist es unser Vorrecht, dass wir uns über diese Maasse erheben und die Sonne selbst als einen Fleck in dem unendlichen Raume, als einen Tropfen in dem Meere des Universums ansehen können. Wir analysiren den Raum, in den sie gesenkt ist, und welcher der Träger ihrer Kraft ist. Wir gehen zu anderen Systemen und zu anderen Sonnen über, von denen jede Kräfte ausstrahlt wie die unsere, aber doch ohne das Gesetz zu übertreten, das Beständigkeit inmitten des Wechsels verräth, das unaufhörliche Uebertragung oder Verwandlung anerkennt, aber keinen endlichen Gewinn oder Verlust. Dieses Gesetz verallgemeinert den Spruch von Salomon, dass es nichts Neues unter der Sonne giebt, indem es uns lehrt, allüberall unter der unendlichen Mannichfaltigkeit der Erscheinungen dieselbe ursprüngliche Kraft zu erkennen. Es

kann der Natur nichts gegeben werden; es kann der Natur nichts entzogen werden; die Summe ihrer lebendigen Kräfte bleibt constant und das Höchste, was der Mensch bei dem Studium der Gesetze in der Natur oder bei der Anwendung der Naturwissenschaft thun kann, ist: die Bestandtheile des sich niemals ändernden Ganzen umzuordnen. Das Gesetz der Erhaltung schliesst die Schöpfung und die Vernichtung gleich streng aus. Wellen können sich in Kräuselungen umwandeln und Kräuselungen in Wellen — Grösse kann für Zahl und Zahl für Grösse eintreten — Asteroiden können sich zu Sonnen zusammenfügen und Sonnen können sich in Schöpfungen von Pflanzen und Thieren auflösen, und diese zu Luft vergehen; die Summe der Kraft ist stets dieselbe. In vollem Einklang wirkt sie im Laufe der Jahrhunderte und alle irdische Kraft, die Aeusserungen des Lebens sowohl wie die mannichfache Gestaltung der physikalischen Erscheinungen, sind nur die wechselnden Klänge ihrer Harmonie.

Anhang zum dreizehnten Kapitel.

Auszug aus einer Vorlesung „Ueber die physikalische Grundlage der Chemie der Sonne" *).

Wir haben jetzt eine schwere Aufgabe vor uns; bisher wurden wir durch Dinge erfreut, die mehr unsern Schönheitssinn befriedigten, als unsere wissenschaftliche Forschung. Wir sind behaglich bis an den Fuss der letzten Spitze des Aetna geritten, und müssen nun absteigen und mühsam durch Asche und Lava aufwärts klimmen, wenn wir die Aussicht von der Höhe geniessen wollen. Es ist unsere Aufgabe, die dunkeln Linien von Fraunhofer mit den hellen der Metalle in Verbindung zu bringen. Der weisse Strahl der Lampe wird beim Durchgang durch unsere beiden Prismen gebrochen, die verschiedenen Theile, aus denen er zusammengesetzt ist, werden aber verschieden gebrochen und seine Farben so auseinander gezogen. Nun hängt aber die Farbe allein von der Geschwindigkeit der Schwingungen der Theilchen des leuchtenden Körpers ab; bei einer bestimmten Geschwindigkeit wird rothes Licht erzeugt, bei einer viel schnellern blaues Licht, und die Farben zwischen roth und blau durch die dazwischen liegenden Geschwindigkeiten. Die festen, weissglühenden Kohlenspitzen geben uns ein continuirliches Spec-

*) Gehalten in der Royal Institution Freitag den 7. Juni 1861 Abends.

trum, oder in anderen Worten, sie senden Strahlen von allen möglichen Perioden zwischen den beiden Grenzen des Spectrums aus. Sie haben Theilchen, die so schwingen, dass sie Roth erzeugen; andere, die Orange erzeugen; andere, die Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett erzeugen. Die Farbe ist für das Licht dasselbe, wie Viele von Ihnen wissen, was die Höhe für den Ton ist. Drückt ein Violinspieler mit dem Finger auf eine Saite, so macht er sie kürzer und spannt sie stärker, er nöthigt sie so, schneller zu schwingen und vermehrt dadurch die Höhe ihres Tons.

Denken Sie sich, dass der Spieler seinen Finger langsam die Saite entlang gleiten lässt und sie allmählich verkürzt, während er mit dem Bogen streicht, so würde der Ton in regelmässiger Abstufung sich erhöhen; es würde keine Lücke zwischen den Tönen eintreten. Hier haben wir die Analogie für das continuirliche Spectrum, dessen Farben unmerklich in einander übergehen, ohne Lücke oder Unterbrechung, vom tiefsten Roth bis zum höchsten Violett. Denken Sie sich aber, dass der Spieler, statt allmählich seine Saite zu kürzen, mit seinem Finger auf einen bestimmten Punkt drückte und den entsprechenden Ton anspielte, dann auf einen mehr oder weniger entfernten Punkt überginge und wieder den Ton anspielte, dann auf einen anderen und so fort, und alle einzelnen Töne angäbe, die durch Lücken von einander getrennt werden, welche den übersprungenen Intervallen der Saite entsprechen, so würden wir die vollkommene Analogie mit einem Spectrum haben, das aus getrennten hellen Streifen mit dazwischen liegenden dunkeln Intervallen bestände. Doch diese Analogie, obgleich sie vollkommen wahr und verständlich ist, genügt nicht für unseren Zweck; wir müssen mit dem geistigen Auge die schwingenden Atome des verflüchtigten Metalles selbst betrachten.

Denken Sie sich diese Atome durch Federn von einer gewissen Spannung verbunden, die, wenn die Atome zusammengedrückt werden, sie von einander stossen, und die, wenn die Atome von einander gezogen werden, sich zusammenziehen, indem sie sie zwingen, ehe sie in Ruhe kommen, mit einer bestimmten, von der Kraft der Feder abhängigen Geschwindigkeit zu vibriren. Dann müssen wir uns das verflüchtigte

Metall, das uns nur einen hellen Streifen giebt, so vorstellen, als ob alle seine Atome durch Federn von derselben Spannung verbunden wären, da alle seine Schwingungen von derselben Art sind. Das Metall, das uns zwei Streifen giebt, müssen wir uns so vorstellen, als wären einige seiner Atome durch Federn von einer bestimmten Spannung und andere durch eine zweite Reihe Federn von einer anderen Spannung verbunden. Seine Schwingungen sind von zwei verschiedenen Arten; ebenso wenn wir drei oder mehr Streifen haben, müssen wir uns ebensoviel verschiedene Systeme von Federn vorstellen, von denen jedes in seiner besonderen Zeit und mit einer Geschwindigkeit schwingt, die von der der anderen verschieden ist. Haben wir diesen Gedanken klar erfasst, so wird es uns nicht schwer, das Beispiel von den Federn fallen zu lassen und im Geist dafür die Kräfte zu setzen, durch die die Atome auf einander wirken.

Nachdem wir uns unseren Weg bis hierher gebahnt haben, können wir einen Schritt weiter vorwärts versuchen.

Hier ist ein Pendel, eine schwere Elfenbeinkugel, die an einer Schnur befestigt ist. Ich blase gegen die Kugel; ein einzelner Stoss meines Athems bewegt sie ein wenig aus ihrer Ruhelage; sie schwingt zu mir zurück und wenn sie die Grenze ihrer Schwingung erreicht hat, blase ich wieder gegen sie. Sie schwingt jetzt weiter, und wenn ich rechtzeitig blase, kann ich die Wirkung der einzelnen Anstösse so anhäufen, dass ich Schwingungen von bedeutender Weite erzeuge. Die Elfenbeinkugel hat hier die Bewegung absorbirt, die ich durch meinen Athem der Luft mitgetheilt habe. Ich bringe die Kugel jetzt zur Ruhe. Denken Sie sich, dass statt meines Athems eine Luftwelle sie getroffen hätte, und dass dieser Welle eine Reihe anderer Wellen, und zwar genau in denselben Intervallen gefolgt wäre, in denen ich blies, so ist es vollkommen klar, dass diese Wellen der Kugel ihre Bewegung mittheilen müssen und sie ebenso in Schwingungen versetzen, wie es vorher mein Athem that. Und ebenso klar ist es, dass dies nicht der Fall sein würde, wenn die Impulse der Wellen nicht zu den rechten Zeiten eingetreten wären; denn dann würde die Bewegung, die dem Pendel durch eine Welle mitgetheilt worden wäre, durch die andere neu-

tralisirt werden, und es könnte nicht die Anhäufung der Wirkungen entstehen, wie wenn die Perioden der Wellen den Schwingungsperioden des Pendels entsprechen. Wenn aber solch ein Pendel in der Luft in Schwingungen versetzt wird, so erzeugt es Wellen in der Luft und wir sehen, dass diese Wellen von derselben Dauer sein müssen, wie die Wellen, deren Bewegungen es am reichlichsten aufnehmen oder absorbiren würde, wenn es von ihnen getroffen wird. Im Vorübergehen will ich noch bemerken, dass, wenn die Perioden der Wellen zwei, drei, vier Mal so lang sind wie die Perioden des Pendels, die dem letzteren mitgetheilten Anstösse auch in solchen Intervallen auf einander folgen, dass sie eine Anhäufung von Bewegung erzeugen.

Die merkwürdigste Wirkung dieser regelmässigen Impulse, die je beschrieben worden ist, wurde vom Uhrmacher Ellicott im Jahre 1741 beobachtet. Er hängte zwei Uhren an dasselbe Brett: die eine, die wir *A* nennen wollen, ging, die andere *B* nicht. Einige Zeit nachher fand er zu seinem Erstaunen, dass *B* auch tickte. Da die Pendel von derselben Länge waren, so wurden die Anstösse, die durch das Ticken von *A* dem Brette mitgetheilt wurden, an welchem beide Uhren hingen, nach *B* fortgepflanzt und folgten auch in solchen Intervallen auf einander, dass sie *B* in Bewegung setzten. Andere eigenthümliche Wirkungen wurden zu gleicher Zeit beobachtet. Unterschieden sich die Pendel um eine bestimmte Grösse von einander, so setzte *A*, *B* in Bewegung, die Gegenwirkung von *B* hielt aber *A* an. Dann setzte *B*, *A* in Bewegung und die Gegenwirkung von *A* hielt *B* an. Waren die Schwingungsperioden einander sehr nahe, aber doch nicht ganz gleich, so controlirten sich die Uhren gegenseitig, und durch eine Art gegenseitiger Uebereinkunft tickten sie in vollkommenem Einklang.

Wie hängt aber dies Alles mit unserem jetzigen Gegenstande zusammen? Die Fragen sind in mechanischer Beziehung identisch, die wechselnden Erscheinungen im Weltall sind alle nur Arten von Bewegung, und die Schwingung eines Strahles ist nahe mit den Schwingungen unseres Pendels verwandt. Nehmen wir an, dass ätherische Wellen auf Atome treffen, die in denselben Perioden schwingen, in denen die

Wellen einander folgen, so wird die Bewegung der Wellen von den Atomen absorbirt werden; senden wir unseren Strahl von weissem Lichte durch eine Natriumflamme, so werden die Theilchen der Flamme hauptsächlich von denjenigen Schwingungen berührt werden, die mit denen ihrer eigenen Schwingungsperioden gleichzeitig sind. Die Strahlen, denen sie angehören, werden vorzüglich eine Uebertragung der Bewegung von dem bewegten Aether auf die Atome des verflüchtigten Natriums vermitteln, und dies ist nach unseren früheren Erklärungen die Absorption.

Wir benutzen Glasschirme, um uns vor der Wärme unserer Feuer zu schützen; wie wirken sie? Die vom Feuer ausgestrahlte Wärme ist zum grössten Theil den Strahlen zuzuschreiben, die nicht fähig sind, den Gesichtssinn zu erregen; wir nennen diese Strahlen dunkle. Obgleich das Glas für die leuchtenden Strahlen durchsichtig ist, ist es doch in hohem Grade für diese dunklen Strahlen undurchlässig und schneidet sie ab, während das uns erfreuende Licht des Feuers hindurchstrahlen kann. Verstehen Sie mich aber recht. Die von Ihrer Person abgehaltene Wärme kann im Glase wiedergefunden werden, das letztere wird erwärmt und strahlt wieder gegen Sie aus; was ist nun der Nutzen des Glases, wenn es nur als ein zeitweiliger Ruhepunkt für die Strahlen dient und sie nachher doch weiter schickt? Es sendet die Wärme, die es auffängt, nicht nur Ihnen zu, sondern verstreut sie auch in allen anderen Richtungen im Zimmer. So werden die Strahlen, die ohne das dazwischentretende Glas direct auf Sie gefallen wären, zum grossen Theil aus ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt und Sie werden nicht von ihnen getroffen.

Doch kehren wir zu unserm Versuch zurück! Ich lasse den Strahl der elektrischen Lampe durch zwei Prismen fallen, und das Spectrum breitet seine Farben über den Schirm aus. Zwischen die Lampe und das Prisma stelle ich diese gelbe Flamme. Alkohol und Wasser sind hier mit einer Menge von gewöhnlichem Kochsalz gemischt, und der Metallteller, der sie enthält, wird durch eine Spirituslampe erwärmt. Der Dampf der Mischung entzündet sich und wir haben diese monochromatische Flamme. Durch dieselbe geht jetzt der Strahl der Lampe; beobachten Sie die Wirkung auf das Spectrum. Sie

sehen einen dunkeln Streifen aus dem Gelben ausgeschnitten; er ist freilich nicht sehr dunkel, wird indess doch Jedem von Ihnen sichtbar sein. Sehen Sie, wie der Streifen zittert und in der Schattirung wechselt, je nachdem die Menge des von der unruhigen Flamme aufgefangenen Gelb wechselt. Die Flamme dieser monochromatischen Lampe wirft in diesem Augenblicke ihr eigenes gelbes Licht auf die beschattete Linie; und ausserdem wirft sie noch zum Theil das Licht darauf, das sie von der elektrischen Lampe absorbirt; doch zerstreut sie den grössten Theil dieses Lichtes nach anderen Richtungen und entzieht es so seinem Platze auf dem Schirme, wie das Glas in dem oben angeführten Falle die Wärme des Feuers von Ihrer Person ablenkte. Daher erscheint der Streifen dunkel, zwar nicht absolut, aber doch dunkel im Vergleich mit den daneben liegenden glänzenden Theilen des Spectrums.

Aber lassen Sie mich diese Wirkung verstärken. Ich stelle die heisse Flamme eines grossen Bunsen'schen Brenners vor die elektrische Lampe. Ich habe hier einen Platinlöffel, in den ich ein Stückchen Natrium, noch nicht von der Grösse einer Erbse, lege. Das in die Flamme gebrachte Natrium verflüchtigt sich bald und brennt glänzend weiss. Beobachten Sie das Spectrum. Der gelbe Streifen ist gänzlich und scharf ausgeschnitten und ein Streifen von intensiver Dunkelheit nimmt seinen Platz ein. Ich nehme das Natrium fort, das glänzende Gelb des Spectrums tritt wieder an seine frühere Stelle; ich führe das Natrium ein und der schwarze Streifen erscheint.

Ich will mich noch bestimmter ausdrücken: Die gelbe Farbe des Spectrums breitet sich über einen bedeutenden Raum aus, sie geht auf der einen Seite in Orange und auf der anderen in Grün über. Der Ausdruck „gelber Streifen“ ist daher etwas unbestimmt. Ich möchte Ihnen zeigen, dass es derselbe gelbe Streifen ist, der vom verflüchtigten Natrium ausgestrahlt und von derselben Substanz absorbirt wird. Wenn ich die Kohlenspitze, die ich als positive Elektrode benutze, in eine Lösung von gewöhnlichem Salz tauche und sie in die Lampe zurückbringe, so erhalte ich den glänzenden gelben Streifen, den Sie jetzt in dem Spectrum erblicken. Beobachten Sie das Verhalten dieses Streifens, wenn ich mein Natri-

umlicht dazwischen bringe. Er wird zuerst verwischt und gleich darauf nimmt der schwarze Streifen seine Stelle ein. Sehen Sie, wie er abwechselnd aufleuchtet und verschwindet, je nachdem ich meine Natriumflamme einführe oder herausnehme.

Und nehmen wir an, dass ich statt der Natriumflamme allein, eine Flamme in den Weg des Strahles eingeführt hätte, in der Lithium, Strontium, Magnesium, Calcium u. s. f. in flüchtigem Zustande sich befänden, so würde jeder metallische Dampf sein eigenes System von dunklen Streifen ausscheiden, welches genau den hellen Streifen entspräche, die das Metall selbst auf den Schirm werfen würde. Das Licht unserer elektrischen Lampe, das nun durch eine solche zusammengesetzte Flamme fällt, würde uns ein durch dunkle Linien getheiltes Spectrum geben, genau wie das Sonnenspectrum durch die Fraunhofer'schen Linien getheilt wird.

Und daraus schliessen wir auf die Beschaffenheit des grossen Mittelpunkts unseres Sonnensystems. Die Sonne besteht aus einem Kern, der von einer flammenden Atmosphäre umgeben ist. Das Licht des Kerns würde uns ein continuirliches Spectrum geben, wie unsere gewöhnlichen Kohlenspitzen; da es aber durch die Photosphäre gehen muss, wie unser Strahl durch die Flamme, so werden diejenigen Strahlen des Kerns, die die Photosphäre selbst ausstrahlen kann, absorbirt und es kommen beschattete Räume, die den einzelnen absorbirten Strahlen entsprechen, im Spectrum vor. Vernichten sie den Sonnenkern, so würden wir ein Spectrum haben, das an Stelle jeder dunkeln Linie von Fraunhofer einen hellen Streifen zeigt. Diese Linien sind daher nicht absolut dunkel, sondern ihre Helligkeit ist um eine Grösse vermindert, die dem Unterschied zwischen dem Lichte des Kerns entspricht, das von der Photosphäre aufgefangen wird, und dem Lichte, das von der letztern ausgeht.

Der Gelehrte, dem wir diese schöne Verallgemeinerung verdanken, ist Kirchhoff, Professor der Physik an der Universität zu Heidelberg; wie aber alle grossen Entdeckungen, so setzt sich auch diese aus verschiedenen einzelnen Beobachtungen zusammen. Herr Talbot beobachtete die glänzenden Linien im Spectrum der farbigen Flammen. Vor 16 Jahren ver-

öffentlichte Dr. Miller Zeichnungen und Beschreibungen der Spectra verschieden gefärbter Flammen. Wheatstone analysirte mit seinem bekannten Scharfsinne das Licht des elektrischen Funkens und zeigte, dass die Metalle, zwischen denen der Funken überging, die hellen Streifen in seinem Spectrum bestimmten. Masson publicirte eine Preisschrift über diese Streifen. Van der Willigen und noch später Plücker haben uns schöne Zeichnungen der durch die Entladung des Ruhmkorff'schen Apparates erhaltenen Spectra gegeben. Aber keiner dieser bedeutenden Männer kam auf die Beziehung zwischen den hellen Streifen des Metalls und den dunkeln Linien des Sonnenspectrums. Der Mann, der dem Wesen dieser Sache am nächsten kam, war Angström. Er führt in einem Aufsatze in Poggendorff's Annalen (Band XIV. S. 141) an, den ich selbst für das Philosophical Magazine für 1855 übersetzt habe, dass die Strahlen, die ein Körper absorbirt, genau dieselben seien, die er ausstrahlen könne, wenn er leuchtend gemacht wird. An einer anderen Stelle erwähnt er von einem seiner Spectra, dass es im Allgemeinen den Eindruck der Umkehrung des Sonnenspectrums gemacht habe. Foucault, Stokes, Thomson und Stewart sind alle nahe an der Entdeckung gewesen, und ich selbst würde durch die Untersuchung der Ausstrahlung und Absorption der Wärme durch Gase und Dämpfe, von der ich im Anfang dieser Vorlesung Ihnen einige Beispiele anführte, schon im Jahre 1859 auf das Gesetz geführt worden sein, auf dem alle Schlussfolgerungen Kirchhoff's beruhen, hätte mich nicht ein Zufall von der weiteren Erforschung abgezogen. Aber Kirchhoff's Ansprüche sind durch diese Umstände in keiner Weise beeinträchtigt. Es ist wahr, dass Vieles, wovon ich gesprochen habe, seiner Entdeckung die nöthige Grundlage gab; so gaben die Gesetze Kepler's Newton die Grundlage für seine Theorie der Gravitation. Das aber, was Kirchhoff gethan hat, führt uns weit hinaus über Alles, was vorher geleistet worden ist. Er hat die Ordnung des Gesetzes in eine grosse Menge von empirischen Beobachtungen eingeführt und hat unsere früheren Kenntnisse veredelt, indem er ihre Verwandtschaft mit den grossartigsten Naturerscheinungen zeigte.

Auszug aus einer Abhandlung des Herrn Joule.

In einer Nachschrift zu einem Aufsatz im Philosophical Magazine, December 1843, macht Herr Joule die folgende sehr wichtige Bemerkung:

„Als ich vor einigen Tagen mit meinem Freund Herrn John Davies sprach, sagte er mir, dass er schon vor einigen Jahren versucht habe, den Theil der thierischen Wärme, den Crawford's Theorie unerklärt gelassen habe, aus der Reibung des Bluts in den Venen und Arterien abzuleiten, dass er aber, als er eine ähnliche Hypothese in Haller's Physiologie gefunden habe, den Gegenstand nicht weiter verfolgt hätte. Es unterliegt keinem Zweifel, dass Wärme durch eine solche Reibung erzeugt wird, aber man muss nicht vergessen, dass die mechanische Kraft, die für die Reibung verwendet wird, ein Theil der Verwandtschaftskraft ist, die das venöse Blut veranlasst, sich mit dem Sauerstoff zu verbinden, so dass doch die ganze Wärme des Körpers auf die chemischen Veränderungen zurückgeführt werden muss. Arbeitet aber das Thier, indem es eine Maschine dreht oder einen Berg hinaufsteigt, so müsste nach meiner Meinung im Verhältniss zu der Muskelthätigkeit, die für jenen Zweck verwendet wird, eine Abnahme der in dem Körper durch einen gegebenen chemischen Process erzeugten Wärme beobachtet werden.

Auszüge aus der Abhandlung von Dr. Mayer über: Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel.

Die folgenden kurzen Auszüge sind einem Aufsatz von Dr. Mayer über die organische Bewegung, einem der wichtigsten Beiträge zu der Wissenschaft unserer Zeit, entnommen:

Die Sonne ist eine nach menschlichen Begriffen unerschöpfliche Quelle physischer Kraft. Der Strom dieser Kraft, der sich auch über unsere Erde ergiesst, ist die beständig sich spannende Feder, die das Getriebe irdischer Thätigkeiten im Gange erhält. Bei der grossen Menge von Kraft, welche unsere Erde in den Weltenraum als wellenförmige Bewegung fortwährend hinausschickt, müsste ihre Oberfläche ohne beständigen Wiederersatz alsbald in Todeskälte erstarren. Das Licht der Sonne ist es, welches in Wärme verwandelt, die Bewegungen in unserer Atmosphäre bewirkt und die Gewässer zu Wolken in die Höhe hebt und die Strömung der Flüsse hervorbringt; die Wärme, welche von den Rädern der Wind- und Wassermühlen unter Reibung erzeugt wird, diese Wärme ist der Erde von der Sonne aus in Form einer vibrirenden Bewegung zugesendet worden.

Die Natur hat sich die Aufgabe gestellt, das der Erde zuströmende Licht im Fluge zu haschen und die beweglichste aller Kräfte, in starre Form umgewandelt, aufzuspeichern. Zur Erreichung dieses Zweckes hat sie die Erdkruste mit Organismen überzogen, welche lebend das Sonnenlicht in sich aufnehmen und unter Verwendung dieser Kraft eine fortlaufende Summe chemischer Differenz erzeugen.

Diese Organismen sind die Pflanzen. Die Pflanzenwelt bildet ein Reservoir, in welchem die flüchtigen Sonnenstrahlen fixirt und zur Nutzniessung geschickt niedergelegt werden; eine ökonomische Fürsorge, an welche die physische Existenz

des Menschengeschlechtes unzertrennlich geknüpft ist und die bei der Anschauung einer reichen Vegetation in jedem Auge ein instinktartiges Wohlgefallen erregt.

Die reducirenden Wirkungen, welche das Sonnenlicht auf anorganische und organische Substanzen ausübt, sind allenthalben bekannt. Die Reduction erfolgt am stärksten im hellen Sonnenlichte, schwächer im Schatten und fehlt ganz im Dunkeln und beim Kerzenlichte; sie beruht nach dem Obigen auf der Umwandlung einer gegebenen Kraft in eine andere, auf der Umwandlung von mechanischem Effect in chemische Differenz.

Die Zeit liegt nicht fern hinter uns, wo die Streitfrage verhandelt wurde, ob die Pflanze während des Lebens chemische Urstoffe zu verwandeln oder gar zu erzeugen im Stande sei. Thatsachen, Experimente schienen bejahen zu wollen, eine genauere Prüfung aber hat das Gegentheil gelehrt und die Wissenschaft hat mit Ueberzeugung ein einstimmiges „Nein“ ausgesprochen. Wir wissen, dass die Materien, um welche eine Pflanze zunimmt, und die, welche von der Pflanze ausgeschieden werden, in Summa den aufgenommenen Materien gleich sind. Der Baum, welcher viele tausend Pfund wiegt, hat jeden Gran Materie von seiner Umgebung aufgenommen. Es findet in der Pflanze nur eine Umwandlung, nicht eine Erzeugung von Materie Statt.

Die Pflanzen nehmen eine Kraft, das Licht, auf und bringen eine Kraft hervor: die chemische Differenz. Das Gesetz des logischen Grundes nöthigt den Naturforscher, die Leistung mit dem Aufwande in Causalzusammenhang zu bringen. Dieser Aufwand oder die Lichtaufnahme ist, wie wir seit Saussure wissen, das nothwendige Erforderniss zu einer Leistung, zur Reduction.

Zuerst muss nun gefragt werden, ob das Licht, welches auf lebende Pflanzen fällt, wirklich eine andere Verwendung findet, als das Licht, welches todte Körper trifft, d. h. ob die Pflanzen ceteris paribus durch das Licht weniger stark erwärmt werden als andere dunkle Flächen? Die Resultate, welche die hierüber im Kleinen angestellten Beobachtungen geben können, scheinen innerhalb der Fehlergrenzen solcher Versuche zu fallen; dagegen lehrt die alltägliche Erfahrung,

dass die erhitzende Wirkung der Sonnenstrahlen auf weite Flächen Landes durch nichts so sehr gehemmt wird als durch eine reiche Vegetation, obgleich die Pflanzen der dunklen Farbe ihrer Blätter wegen einen grösseren Theil des auf sie fallenden Sonnenlichtes aufnehmen müssen, als der kahle Boden. Wenn nun zur Erklärung dieser Thatsache die Ausdünstung der Pflanzen nicht ausreicht, so muss obige Frage ohne Widerspruch bejaht werden.

Die zweite Frage geht nach der Ursache der durch die Pflanzen gelieferten chemischen Differenz. Diese Differenz ist, wie oben erörtert wurde, eine physische Kraft; sie ist der bei der Verbrennung der Pflanzen gewonnenen Wärme gleich. Entsteht nun diese Kraft durch den Lebensprocess ohne den Aufwand einer gegebenen Kraft? Die Erschaffung einer physischen Kraft, schon an und für sich selbst kaum denkbar, erscheint um so paradoxer, wenn man die Erfahrung berücksichtigt, dass die Pflanze einzig mit Hülfe des Sonnenlichtes ihre Leistung zu vollbringen im Stande ist; durch die Annahme einer solchen hypothetischen Action der „Lebenskraft“ wird jede weitere Forschung abgeschnitten, und die Anwendung der Gesetze exacter Wissenschaften auf die Lehre von den Lebenserscheinungen unmöglich gemacht: ihre Bekenner werden, gegen den Geist des Fortschrittes, der sich in der Naturforschung jetziger Zeit kund giebt, in das Chaos ungezügelter Phantasiespiele zurückgeführt. Der Verfasser glaubt daher auf das Einverständniss seiner Leser rechnen zu dürfen, wenn er der folgenden Untersuchung als axiomatische Wahrheit den Satz unterlegt: dass während des Lebensprocesses nur eine Umwandlung, so wie der Materie, so der Kraft, niemals aber eine Erschaffung der einen oder der andern vor sich gehe.

Die durch die Thätigkeit der Pflanzen angesammelte physische Kraft fällt einer andern Klasse von Geschöpfen anheim, die den Vorrath durch Raub sich zueignen und ihn zu individuellen Zwecken verwenden. Es sind dieses die Thiere.

Das lebende Thier nimmt fortwährend aus dem Pflanzenreiche stammende brennbare Stoffe in sich auf, um sie mit dem Sauerstoff der Atmosphäre wieder zu verbinden. Parallel diesem Aufwande läuft die das Thierleben charakteri-

sirende Leistung: die Hervorbringung mechanischer Effecte, die Erzeugung von Bewegungen, die Hebung von Lasten. Diese Leistung ist Mittel und Zweck im thierischen Organismus; sie ist Bedingung jedwedes animalischen Lebensprocesses. Zwar auch die Pflanzen bringen mechanische Effecte hervor, sie bewegen und heben; offenbar ist aber bei gleicher Zeit und gleicher Masse die Summe der von einem Pflanzenindividuum geleisteten Effecte der thierischen Leistung gegenüber eine verschwindend kleine; während also in der Pflanze die Erzeugung mechanischer Effecte eine quantitativ und qualitativ sehr untergeordnete Rolle spielt, ist die Verwandlung chemischer Differenz in individuell nutzbaren mechanischen Effect der unzertrennliche Begleiter, das charakteristische Merkmal des Thierlebens.

In dem Thierorganismus wird fortwährend eine Summe von chemischen Kräften aufgewendet. Ternäre und quaternäre Verbindungen erleiden während des Lebens in ihrer Zusammensetzung die wichtigsten Veränderungen und werden grossentheils in Form binärer Verbindungen, als verbrannte Stoffe, nach kurzem Verweilen wieder ausgeschieden. Die Grösse dieser Kraft, beziehungsweise die Wärmemenge, welche durch diese Processe geliefert werden kann, ist auf experimentalem Wege keineswegs genügend eruirt; es kann jedoch hier, wo es sich hauptsächlich um Feststellung eines Princips handelt, genügen, die Verbrennungswärme des reinen Kohlenstoffs den Rechnungen zu unterlegen, indem die so erhaltenen Zahlenwerthe, wo in Zukunft die Experimentalphysik über die kraftliefernde Wirkung der in Betracht kommenden chemischen Vorgänge genauere Data liefert, durch die einfachste Reduction verändert werden können.

Die Verbrennungswärme des Kohlenstoffs setzen wir nach Dulong = 8558° C., die Lasterhebung, welche der Verbrennung von 1 Gewichtstheil Kohlenstoff entspricht, = 9,670000 Gewichtstheile auf 1 Fuss Höhe.

Drückt man nun den Aufwand an chemischer Differenz, den ein Pferd zur Hervorbringung obiger Leistung machen muss, durch ein Gewicht von Kohlenstoff aus, so findet man, dass das Thier in einem Tage 1,34 Pfund, in einer Arbeits-

stunde 0,167 Pfund, in einer Minute 0,0028 Pfund Kohlenstoff zu mechanischen Zwecken verbraucht.

Nach gangbaren Bestimmungen ist die Leistung eines starken Arbeiters $^1/_7$ von der eines Pferdes. Ein Mann, der in einem Tage 1,850000 Pfund 1 Fuss hoch hebt, muss hierzu 0,19 Pfund Kohlenstoff verwenden. Dieses beträgt für eine Arbeitsstunde (den Tag zu 8 Stunden gerechnet) 0,024 Pfund, für eine Minute 0,0004 Pfund = 3,2 Gran Kohlenstoff. Ein Kegelspieler, der eine 8 Pfund schwere Kugel mit einer Geschwindigkeit von 30 Fuss abwirft, verwendet zu dieser Arbeit $^1/_{10}$ Gran Kohlenstoff; ein Mann, der sein Körpergewicht von 150 Pfund 8 Fuss hoch hebt, verbraucht dazu 1 Gran Kohlenstoff; beim Besteigen eines 10000 Fuss hohen Berges beträgt der Aufwand, den bei jedem Tritte durch unelastischen Stoss verloren gehenden mechanischen Effect ungerechnet, 0,155 Pfund = 2 Unzen 4 Drachmen 50 Gran Kohlenstoff.

Wenn der animalische Organismus den disponibeln Brennstoff einzig zu mechanischen Zwecken verwenden würde, so müssten die berechneten Kohlenstoffmengen für die angegebenen Zeiten hinreichen. In Wirklichkeit kommt aber zu der Production mechanischer Effecte im Thierkörper noch eine beständige Wärmeerzeugung. Die chemische Kraft, welche in den eingeführten Nahrungsmitteln und in dem eingeathmeten Sauerstoffe enthalten ist, ist also die Quelle zweier Kraftäusserungen, der Bewegung und der Wärme, und die Summe der von einem Thiere producirten physischen Kräfte ist gleich der Grösse des gleichzeitig erfolgenden chemischen Processes.

Sammelt man die in einer gewissen Zeit von einem Thiere gelieferten mechanischen Kraftäusserungen, verwandelt dieselben durch Reibung oder sonst auf eine Weise in Wärme, und addirt hierzu die in gleicher Zeit von dem Körper unmittelbar entwickelte Wärme, so wird man genau die Wärmemenge erhalten, welche dem stattgehabten chemischen Processe an und für sich entspricht.

In dem thätigen Thiere ist der Stoffwechsel viel grösser als in dem ruhenden. Die Grösse des in einem gewissen Zeitraume vor sich gehenden chemischen Processes sei im ruhenden Individuum $= x$, in dem thätigen Individuum

$= x + y$. Würde nun während der Arbeit dieselbe Menge freier Wärme ausgeschieden, als in der Ruhe, so müsste der Mehraufwand an chemischer Kraft $= y$ der Bildung mechanischer Effecte genau entsprechen. Durchschnittlich wird aber der thätige Organismus mehr freie Wärme bilden als der ruhende, da schon die verstärkte Respiration einen vermehrten Wärmeverlust bedingt, der durch eine vermehrte Erzeugung gedeckt werden muss. Während der Arbeit wird also $x +$ einem Theil von y zu Wärme, der Rest aber zu mechanischen Effecten verwendet werden.

Es muss nun nachgewiesen werden, dass der von dem arbeitenden Individuum gemachte Mehraufwand an Combustibilien erfahrungsgemäss die zur Hervorbringung der Bewegungen nöthige Kraft wirklich enthält.

Ein starkes Pferd, das Tag für Tag der Ruhe pflegen darf, wird mit 15 Pfund (à 500 Grm.) Heu und 5 Pfd. Hafer reichlich genährt; hat aber jetzt das Thier, wie oben angenommen wurde, täglich 12,960000 Pfd. 1 Fuss hoch zu heben, so kann es bei dieser Nahrung offenbar nicht bestehen. Wir legen ihm, um es in gutem Stande zu erhalten, 11 Pfd. Hafer zu. Nun enthalten obige, der vorhin erwähnten Grösse x proportionale 20 Pfd. Nahrungsmittel nach Boussingault 8,074 Pfd. Kohlenstoff. Die 11 Pfd. Hafer, welche der Grösse y entsprechen, enthalten nach eben demselben 4,734 Pfd. Nach Boussingault verhält sich ferner die eingeführte zu der in brennbarer Form excernirten Kohlenstoffmenge ungefähr wie 3938 : 1364,4; hiernach berechnet ist also x, d. h. die von dem ruhenden Thiere verbrannte Kohlenstoffmenge, $= 5,2766$ Pfd., y aber 3,094 Pfd. Der zu mechanischen Effecten verbrauchte Kohlenstoff aber beträgt nach dem Obigen 1,34 Pfd., welche Grösse wir $= z$ setzen wollen.

Jetzt ergeben sich folgende Verhältnisse: 1) die mechanische Leistung zum Gesammtverbrauche $= z : x + y = 0,16$; 2) die mechanische Leistung zu dem Mehrverbrauche des arbeitenden Thieres $= z : y = 0,43$; 3) die Wärmebildung in der Ruhe zu der in der Arbeit $= x : x + y - z = 0,75$.

In gleicher Weise bestimmt Mayer die folgenden Verhält-

nisse für den Menschen, wobei er die von Liebig für die Soldaten und Gefangenen in Giessen gegebenen Zahlen benutzte: 1) Die mechanische Leistung verhält sich zum Gesammtverbrauche = 95,7 : 540 = 0,177; 2) die mechanische Leistung zu dem Mehrverbrauche des arbeitenden Mannes = 957 : 285 = 0,366; 3) die Wärmebildung im ruhenden Mann zu der im arbeitenden = 255 : 540 — 95,7 = 0,57.

„Bei diesen Berechnungen," fährt Mayer fort: „ist nur der umgesetzte Kohlenstoff in Betracht gezogen worden. Will man die Verbrennungswärme der eingeführten Nahrungsmittel gleich dem in ihnen enthaltenen Kohlenstoff + Wasserstoff setzen, so kann man die hinzuzuaddirende Verbrennungswärme des Wasserstoffs nahe = $^1/_4$ von der des Kohlenstoffs annehmen. Es versteht sich aber von selbst, dass die hier gegebenen Grössenbestimmungen auf eine allgemeine Gültigkeit keinen Anspruch machen wollen. Nach der verschiedenen individuellen Constitution und nach den verschiedenen Lebensverhältnissen muss die Leistung und der Verbrauch grossen Schwankungen unterliegen. Immerhin werden aber diese Angaben dazu dienen können, Folgendes als erfahrungsgemäss zu begründen.

1) Der Mehraufwand, den der arbeitende Organismus an Combustibilien macht, reicht, auch wenn man das Plus der erzeugten Wärme im Auge behält, vollkommen aus, um die Production der mechanischen Effecte auf natürlichem Wege zu erklären.

2) Der von dem angestrengt thätigen Säugethiere zu mechanischen Zwecken verwendete Kohlenstoff wird als Maximum kaum $^1/_5$ vom Totalaufwande betragen. Die übrigen $^4/_5$ werden zur Wärmebildung verbraucht."

„Um die Verwandlung von chemischer Kraft in mechanischen Effect bewerkstelligen zu können, dazu sind die Thiere mit specifischen Organen ausgerüstet, deren die Pflanzen gänzlich ermangeln. Es sind dieses die Muskeln.

Zur Thätigkeitsäusserung eines Muskels gehört Zweierlei: 1) Der Einfluss eines motorischen Nerven als Bedingung, und 2) der Stoffwechsel als Ursache der Leistung.

Wie der ganze Organismus, so hat auch das Organ, der Muskel, seine psychische und seine physische Seite; zu jener

zählen wir den Nerveneinfluss, zu dieser den chemischen Process.

Dem Willen des Steuermanns und des Maschinisten gehorchen die Bewegungen des Dampfbootes. Der geistige Einfluss aber, ohne welchen sich das Schiff nicht in Gang setzen, oder am nächsten Riffe zerschellen würde, er lenkt, aber er bewegt nicht; zur Fortbewegung bedarf es einer physischen Kraft, der Steinkohlen, und ohne diese bleibt das Schiff, auch beim stärksten Willen seiner Lenker, todt."

Hier folgen noch einige Bemerkungen von Mayer über die Muskelbewegung:

„Im ersten Theile dieser Schrift wurde die Rolle, welche der Verbrennungsprocess in anorganischen Bewegungsapparaten, den Dampfmaschinen, spielt, ihren Hauptpunkten nach erörtert. Unsere jetzige Aufgabe ist es, die hier einschlagenden Lebenserscheinungen im Zusammenhange mit ihrer physikalischen Ursache zu betrachten, und das auf dem Boden exacter Wissenschaft Gewonnene zur Begründung physiologischer Lehrsätze anzuwenden.

Nach dem Obigen verarbeitet ein angestrengt thätiger Mann in einem Tage 0,19 Pfund Kohlenstoff zu mechanischen Effecten. Das Gewicht der gesammten Muskulatur eines 150 Pfd. schweren Arbeiters = 64 Pfd. gesetzt, bleiben nach Abzug von 77 Proc. Wassergehalt circa 15 Pfd. trockne combustible Muskelsubstanz. Angenommen nun (obschon nicht zugegeben) die wärmegebende Kraft dieser Materie komme (bei 40 Proc. Sauerstoff und Stickstoff) der des reinen Kohlenstoffs gleich, so müsste die ganze Muskulatur des Mannes, wenn sie den Stoff zur Krafterzeugung liefern sollte, in längstens 80 Tagen oxydirt werden.

Noch augenfälliger wird diese arithmetische Deduction, wenn man die Leistung eines einzelnen Muskels, die des Herzens nämlich, in Betracht zieht. Wir setzen mit Valentin die von dem linken Ventrikel bei jeder Systole beförderte Blutmenge im Mittel = 150 Cubikcentimeter, den hydrostatischen Druck des Blutes in den Arterien nach Poiseuille = dem Drucke einer 16 Centimeter hohen Quecksilbersäule. Der mechanische Effect, den der linke Ventrikel bei einer Systole liefert, lässt sich hieraus berechnen; er ist gleich der Hebung

einer Quecksilbersäule von einem Quadratcentimeter Grundfläche und 16 Centimeter Höhe auf 150 Centimeter. Das Gewicht des Quecksilbers beträgt 217 Grm. Der Effect einer Systole reducirt ist somit

$$= \left\{ \begin{array}{llll} 325{,}6 \text{ Grm} & \text{auf} & 1 \text{ Meter} \\ 2 \text{ Pfd.} & \text{„} & 1 \text{ Fuss} \end{array} \right\},$$

welches äquivalent ist mit 0,887° Wärme oder äquivalent der Verbrennung von 0,0001037 Grm. Kohlenstoff. Rechnet man nun für eine Minute 70, für einen Tag 100800 Pulsschläge, so ist der mechanische Effect des linken Ventrikels in einem Tage = 202000 Pfd. auf 1 Fuss = 89428° Wärme = der Verbrennung von $\left\{ \begin{array}{l} 10{,}45 \text{ Grm.} \\ 168{,}3 \text{ Gran} \end{array} \right\}$ Kohlenstoff. Nach Valentin ist die Leistung des rechten Ventrikels die Hälfte von der des linken. Der von beiden Kammern gelieferte mechanische Effect ist hiernach in einem Tage = 303000 Pfd. auf 1 Fuss = 134143° Wärme

$$= \left\{ \begin{array}{l} 15{,}67 \text{ Grm.} \\ 252{,}4 \text{ Gran} \end{array} \right\} \text{Kohlenstoff.}$$

Das Gewicht des ganzen Herzens zu 500 Grm. angenommen und hiervon 77 Proc. Wasser abgezogen, bleiben 115 Grm. trockene, brennbare Materie. Setzt man diese Materie, wie oben, dem reinen Kohlenstoff äquivalent, so folgt, dass das ganze Organ, wenn es den Stoff zu seiner Leistung selbst abgeben sollte, in längstens 8 Tagen oxydirt sein müsste. Setzt man aber das Gewicht beider Ventrikel allein, nach den Wägungen Valentin's, = 202 Grm., so müsste unter der nämlichen Bedingung die totale Umsetzung dieser Muskelgebilde binnen $3\frac{1}{2}$ Tagen vollbracht sein!

ALPHABETISCHES INHALTSVERZEICHNISS.

(Die Zahlen bezeichnen die Paragraphen des Werkes; nur wo denselben ein S vorgesetzt ist, beziehen sie sich auf die Seiten desselben.)

A.

Abkühlung, Wirkung von Luft und Wasserstoff auf erhitzte Körper, 292.
— wie sie beschleunigt werden kann, 183, 342.
— durch Ausdehnung eines Gases, 95.
— ein Verlust an Bewegung, 297, 319.
— eine Wirkung der Verdünnung, 26.
— wie sie hervorgerufen wird, 319.
— wie sie durch Ausstrahlung vermindert wird, 492.
— Thau, eine Wirkung derselben, 557.
Absoluter Nullpunkt der Temperatur, 96.
Absorbirender Körper, Bedingungen für seine Wirkung, 423.
Absorption von Wärme durch Ueberzüge von Bleiweiss und Zinn, 344.
— auswählende Kraft der Körper, 348.
— findet innerhalb der Körper statt, 355.
— bei verschiedenen Glasdicken, 356.
— des Selenits, 358.
— durch feste Körper, Tabelle von Melloni, 351.
Absorption durch Flüssigkeiten, Tabelle von Melloni, 353.
— Anordnung der Apparate, 500.
— der Flüssigkeiten bei verschiedenen Dicken, Tabelle, 506.
— der Dämpfe dieser Flüssigkeiten, 509.
— der Gase, Versuchsmethode, 372 u. f.
— Tabellen, 414, 418, 421.
— des ölbildenden Gases, 393, 402.
— — proportional der Dichtigkeit das Gases bei kleinen Mengen, 403.
— ist eine Uebertragung, nicht eine Vernichtung der Bewegung, 412.
— durch Dämpfe, Tabellen, 433, 437, 439, 459, 522, 524.
— durch Wasserdampf, 470 u. f. 515.
— ist eine molekulare Wirkung, 511.
— die physikalische Ursache derselben, 517.
— der Wärme von Flammen durch Dämpfe, Tabelle, 526, 528.
— und Ausstrahlung der Wärme, Gegenseitigkeit beider, 343, 354, 415, 459.
— und Ausstrahlung der Wärme durch Gase und Dämpfe bestimmt ohne äussere Wärmequelle, 449.
— dynamische, Tabelle für die Gase, 455.

Aequatorialer Ocean, die von ihm kommenden Winde als Ursache der Feuchtigkeit von England, 215.
Aequivalent, mechanisches der Wärme, 38 u. f.
— Berechnung desselben, 75 u. f.
Aërolithe, Geschwindigkeit derselben, 12.
Aethrioskop, 493.
Aggregatzustand, Veränderung desselben durch Wärme, 176.
Akustische Versuche, Anhang zu Kap. VIII, S. 342.
Alaun, starke Absorption und Ausstrahlung desselben, 351, 354.
— Zahl der von demselben durchgelassenen leuchtenden und dunklen Strahlen, 370.
Alkohol, Ausdehnung durch Wärme gezeigt, 97.
— die Verdunstung desselben erzeugt Kälte, 186.
Alpen, Bildung und Bewegung der Gletscher in denselben, 228.
Alte Gletscher, Spuren derselben, 236 u. s. w.
Amerika, ausserordentliche Kälte der Ostküste, 223.
Ammoniak, starke Absorption der Wärme durch dasselbe, 420.
Arbeit, constantes Verhältniss zwischen derselben und der Wärme, 15, 37, 156.
— innere, 160, 167.
— mögliche und wirkliche, 154.
Asbest, Grund seiner geringen Leitungsfähigkeit für Wärme, 285.
Asien, Grund der Kälte in den mittleren Theilen, 492.
Asteroïden, Wärmemenge durch Auffallen derselben auf die Sonne, 596.
Athem, der menschliche, seine Absorption für Wärme bei verschiedenem Druck, 538.
— eine physikalische Analyse desselben, 540.
Atmosphäre, Nutzen des Wasserdampfes in derselben, 492.
— Absorption von Sonnenwärme durch dieselbe, 364.
— Ausstrahlung der Erde durch dieselbe, Anhang zu Kap. XI, S. 498.
Atmosphäre, ihr Einfluss auf die Temperatur der Planeten, 546.
— Wirkung ihres Druckes auf den Siedepunkt, 137 u. f.
— Abnahme ihres Druckes erniedrigt den Siedepunkt, 138.
— Menge von Wasserdampf in derselben, 469.
— Wirkung des Wasserdampfes in derselben auf strahlende Wärme, 470, 480.
Atome, Zusammentreffen von Kohlenstoff und Sauerstoff, 48.
— werden dieselben getrennt, so wird Wärme verzehrt, 159.
— gewaltige Anziehung derselben, 99, 157.
— ihre relativen Gewichte, 161.
— sie besitzen dieselbe Wärmemenge, 161.
— sie absorbiren und strahlen dieselben Strahlen aus, 576.
— die Schwingungen der Atome eines Körpers werden durch Wärme vergrössert, 58, 159.
— Fortdauer der Bewegung der Atome erklärt, 61.
— Kräfte zwischen denselben, Grösse, 99, 157.
— Constitution, Einfluss derselben auf die Absorption der Wärme, 422.
Ausdehnende Kraft der Wärme, 66.
Ausdehnung, Bemerkungen über dieselbe, Anhang zu Kapitel III. S. 117.
— der Gase ohne Abkühlung, 94.
— des Volumens, 59.
— der Gase durch Wärme, 67.
— Coëfficient, 69.
— ohne Leistung von Arbeit, 94.
— der Flüssigkeiten durch Wärme, 97.
— des Wassers beim Gefrieren, 98.
— Nutzen hiervon in der Natur, 101.
— des Alkohols durch Wärme, 97.
— des Wassers durch Wärme, 98.
— des Wassers durch Kälte, 98.
— des Wismuths beim Abkühlen, 102.
— der festen Körper durch Wärme, 103.

Ausdehnung des Bleies, merkwürdige Wirkung derselben, 107.
— der Krystalle, 108.
Ausstrahlende Körper und Luft, der Temperaturunterschied zwischen beiden constant, 564.
Ausstrahlung, Wirkung der Farbe auf dieselbe, 341.
— und Absorption, Reciprocität, 343, 354, 415, 459.
— der Metalle, 340.
— der Wärme durch feste Körper, 340, 354.
— — durch Gase, 413, 455.
— — durch Dämpfe, 459, 465.
— und Absorption eines Gases oder Dampfes ohne äussere Wärme bestimmt, 449.
— dynamische der Gase; Tabelle, 455.
— Thau, eine Folge der Abkühlung durch dieselbe, 357.
— nächtliche, Glaisher's Tabelle der Abkühlung durch dieselbe, 562.
— künstliche Bildung des Eises durch sie, 560.
— durch die Atmosphäre der Erde, Anhang zu Kap. XI, S. 411.
— leuchtende und dunkle, 370 und Anhang zu Kap. XII, S. 559.
Auswählende Kraft der Körper für Licht und Wärmestrahlen, 348.

B.

Baco, Auszug aus dem zweiten Buche des Novum Organum, Anhang zu Kap. II, S. 69.
— sein Versuch über die Zusammendrückung des Wassers, 157.
Baumrinde, schlechte Leitungsfähigkeit derselben, 272.
Bekleidungsstoffe, Leitungsfähigkeit derselben, 283.
Berge, ihre Wirkung als Condensatoren erklärt, 490.
Bewegende Kraft, Wärmemenge, welche durch die Zerstörung derselben erzeugt wird, 40.
— erzeugt durch Dampf, 140.
Bewegung, Wärme als solche betrachtet, von Baco und Locke, 20; von Rumford, 13; von Davy, 13, 23.
Bewegung, Uebertragung derselben von der Masse auf die Moleküle, 23, 58.
— moleculare, Kraft derselben, 99.
— Maximumpunkt derselben im Gletscher, 229.
Bienenwachs, Zusammenziehung bei der Abkühlung, 120.
Blagden u. Chantrey, ihr Aufenthalt in erhitzten Oefen, 256.
Blei, merkwürdige Wirkung der Ausdehnung desselben, 107.
Bleikugel, durch Stoss erwärmt, 40.
Blut, Grund der Constanz seiner Temperatur in allen Klimaten, 256.
Borsäureäther, starke Wärmeabsorption seines Dampfes, 433.
— Tabelle der dynamischen Ausstrahlung seines Dampfes, 461.
Boutigny, Versuche über den sphäroidalen Zustand der Flüssigkeiten, 200.
— bringt zuerst Wasser in einem rothglühenden Tiegel zum Gefrieren, 202.
Brise, Land- und See-, Ursache derselben, 212.
Britische Inseln, Ursache ihrer Feuchtigkeit, 215.
Brom, Undurchsichtigkeit für das Licht, aber Durchlässigkeit für die Wärme nachgewiesen, 426.
Bunsen, Beschreibung seines Brenners, 53.
— Brenner, Strahlung desselben durch Dämpfe, Tabelle, 528.
— seine Bestimmung der Temperatur der Geyser, 145.
— seine Geyser-Theorie, 148.

C.

Calmen, Region derselben, 214.
— Ursache der Regenschauer in denselben, 488.
Calorescenz, Anhang zu Kap. XII, S. 548.
Cautschuk, seine Ausdehnung erzeugt Wärme, 110.
— Zusammenziehung durch Wärme, 112.

Chantrey u. Blagden, ihr Aufenthalt in erhitzten Oefen, 256.
Chemische Verbindungen, ihre Wirkung auf strahlende Wärme, 425.
Chemnitz, Luftdruckmaschine daselbst, 29.
Coëfficient der Ausdehnung eines Gases, 69.
— linearer und kubischer, Tabelle, Anhang zu Kapitel III, S. 118.
Cohäsion, vermindert durch Wärme, 59.
— von Wasser, vermehrt durch Entfernung der Luft, 131.
Colding, seine Untersuchungen über das Aequivalent zwischen Wärme und Arbeit, 38, Anmerkung.
Comprimirte Luft, ihre Ausdehnung erzeugt Kälte, 15.
Cumberland, Spuren von alten Gletschern, 238.

D.

Dampf, Erzeugung desselben, 137.
— seine Spannkraft, durch Erwärmung vermehrt, 140.
— seine latente Wärme, 181.
— des Wassers, durch Verdünnung der Luft verdichtet, 28.
— — seine Wirkung auf strahlende Wärme, 470, 492.
— — Verdichtung, befördert durch dieselbe, 491.
— — bei der Erzeugung desselben wird Wärme verbraucht, 186, 240.
— — trägt einen sphäroidalen Wassertropfen, 194.
— der Metalle, Spectrum desselben, 568.
— absorbirt die Strahlen, die er ausstrahlt, 532.
Dampfkessel, Explosionen, 134, 201.
Dampfzustand der Materie, 60.
Dämpfe und Flüssigkeiten, ihre Absorption für Wärme, 510, 514.
— — Tabelle ihrer Absorption für Wärme, 433, 437, 459, 522, 524.
— — dynamische Ausstrahlung und Absorption derselben, 459, 466.
Davy, Sir H., seine Versuche über das Flüssigwerden des Eises durch Reibung, 22.
— seine erste wissenschaftliche Arbeit, Anhang zu Kap. III, S. 120.
— seine „Chemical Philosophy", 29.
— Untersuchung der Flamme, 48.
— Entdeckung der Sicherheitslampe, 289.
— Versuch über den Durchgang der Wärme durch einen luftleeren Raum, 297.
— seine Ansichten über Wärme, 13, 23, 61.
— drückt ein Flintenschloss im luftleeren Raume ab, 11.
De la Rive und de Candolle, über Leitungsfähigkeit des Holzes, 259, 272.
Despretz, Versuche über die Leitungsfähigkeit der festen Körper, 247; der Flüssigkeiten, 291.
Destillation, bewegende Kraft verglichen mit derselben, 9a.
Diamant, Newton's Ansicht über denselben, 48.
— Verbrennung in Sauerstoff, 48.
Diathermansie, erklärt und erläutert durch Versuche, 350.
— kein Beweis für Durchsichtigkeit, 351, 367.
Dichtigkeit, Maximum beim Wasser, 98.
— der Gase, Beziehung zur Absorption, 400.
Dicke, Einfluss derselben auf die Absorption von Wärme, 357.
Donny, Versuche über das von Luft gereinigte Wasser, 132.
Dove, Auszug aus seinem Werke, 209.
Drahtgaze, hindert den Durchgang der Flamme, 288.
Druck, Wärme erzeugt durch denselben, 7.
— Beziehung zur Erwärmung der Gase, 69, 74.
— Wirkung auf den Schmelzpunkt, 121.
— Flüssigwerden des Eises durch denselben, 125.
Dunkle Wärmestrahlen gehor-

chen denselben Gesetzen wie das Licht, 323.
— — Verhältniss derselben zu den leuchtenden Strahlen aus verschiedenen Quellen, 370 u. Anhang zu Kap. XII, S. 548.
Durchlassung von Wärme durch feste Körper, Melloni's Tabelle, 351.
— — durch Flüssigkeiten, 353.
— — Einfluss der Temperatur der Wärmequelle auf dieselbe, 522, 524, 547.
Durchsichtigkeit der Körper, Ursache derselben, 346, 517.
— kein Beweis für Diathermansie, 351, 367.
Dynamik des Himmels von Mayer, 83, 602.
Dynamische Wärmetheorie, 20.
Dynamische Energie erklärt, 154.
Dynamische Ausstrahlung und Absorption, Entdeckung derselben, 447.
— — bei Gasen, Tabelle, 455.
— — bei Dämpfen, 459.
— — beim Dampf von Borsäureäther, Tabelle, 461.
— — bei verschiedenen Längen der Röhre, 466.

E.

Eis, flüssig gemacht durch Reibung, 22, und Anhang zu Kap. III, S. 121.
— warum es auf Wasser schwimmt, 101.
— flüssig gemacht durch Druck, 125.
— Structur, 126.
— zerfällt durch Wärme, 127.
— Blumen, 127 u. f.
— Auszüge aus einem Aufsatz über physikalische Eigenschaften desselben, Anhang zu Kap. IV, S. 169 und zu Kap. IX, S. 392.
— Zähigkeitstheorie, 230.
— Regelationstheorie, 232.
— geformt durch Druck, 234.
— seine Absorption für Wärme, 351, 365.
— künstliche Bildung durch nächtliche Ausstrahlung, 560.
Eis, Theorie für seine Bildung, 560.
Eis, Menge, die in der Minute durch die Sonnenausstrahlung geschmolzen würde. Messungen von Herschel und Pouillet, 585.
— Menge, die in der Stunde durch die totale Ausstrahlung der Sonne geschmolzen würde, 590.
Eisen, Ausdehnung durch Wärme, 104.
— Gegenwart desselben in der Sonne, 583.
Eiserne Flasche, durch Gefrieren von Wasser gesprengt, 99.
Eismeer, bei Chamouny, Auszug aus einem Vortrage, Anhang zu Kap. VI, S. 250.
Eisträger oder Kryophor 187.
Elektricität und Wärme, ihre Verwandtschaft bei der Leitung durch verschiedene Körper gezeigt, 250.
— Strom von, vermehrt durch die Abkühlung des leitenden Drahts, 252.
Elemente, Tabelle ihrer specifischen Wärme, 165, 169.
— schlecht absorbirende und ausstrahlende Körper, 419, 424 u. f.
Elfenbein, schlechte Leitungsfähigkeit, 275.
Emissionstheorie von Newton, 303.
Energie, dynamische und potentielle, 154.
England, Ursache seiner gleichmässigen Temperatur, 215, 223.
Erdbeben von Caraccas, 210.
Erde, Wärmemenge, die erzeugt werden würde, wenn ihre Bewegung aufhörte, 46; durch Fallen in die Sonne, 46; beim Hemmen ihres Umlaufs, 604.
— Rinde, dicker als man gewöhnlich annimmt, 122.
— ihre Umdrehung und Gestalt, Wirkung davon auf die Passatwinde, 207, 211.
— Zeit für ihre Abkühlung, 608.
— alle lebendige Kraft derselben ist der Sonne zuzuschreiben, 609.
Erhaltung der Kraft in der Dampfmaschine, 9, 140.
— der lebendigen Kraft, Gesetz, 155.

Erstarren von Ausdehnung begleitet, 98.
— von Zusammenziehung, 120.
Euler, seine Gründe für die Wellentheorie des Lichts, 303.
Europa, der Condensator des altantischen Meeres, 224.
— Ursache der Milde seines Klimas, 215, 223.
Explosion von Dampfkesseln, 134.
— — wahrscheinlich dem sphäroïdalen Zustande zuzuschreiben, 201.
— in Kohlengruben, Ursache, 289.

F.

Faraday, Entdeckung der Regelation des Eises, 232.
— er bringt zuerst Quecksilber in einem rothglühenden Tiegel zum Erstarren, 202.
— seine Entdeckung der Magnetelektricität, 13.
— Versuche mit geschmolzenem Eise, 133.
Farbe, physikalische Ursache derselben, 317, 346.
— Einfluss auf die Ausstrahlung, 341.
— des Himmels, mögliche Ursache, 496.
Feste Körper, ihre Ausdehnung durch Wärme, 103.
— Wärmedurchgang durch dieselben, Melloni's Tabelle, 351.
Fett, Zweck seiner Anwendung bei Rädern und Axen, 9.
Feuer, erzeugt durch Reibung, 11.
— zeug, pneumatisches, 25.
Firn, der Ernährer des Gletschers, 228.
Firnissen eines Metalls oder schwachwirkenden Gases durch ein stärker wirkendes, 457.
Flamme, Beschaffenheit derselben, 49 u. f.
— Ursache ihrer Unfähigkeit, durch Drahtgaze zu gehen, 288.
— Tönende, Anhang zu Kap. VIII, S. 342.
— Versuche des Grafen Schaffgotsch darüber, Anhang zu Kap. VIII, S. 352.
— Untersuchung der Ausstrahlung der Flamme, 526 u. f.
Flintenkugel, Wärmemenge durch das Aufhalten ihrer Bewegung, 45.
Florentiner Versuch, 157, Anmerkung.
Fluorescenz von schwefelsaurem Chinin im unsichtbaren Spectrum, 313.
Flüssiger Zustand der Materie, 59.
— — der Uebergang zum festen Zustande erzeugt Wärme, 185.
Flüssigkeiten, Ausdehnung durch Wärme, 97.
— ihr sphäroïdaler Zustand, 193.
— Leitungsfähigkeit derselben, 291.
— Wärmedurchlassung derselben, Melloni's Tabelle, 353.
— Apparat, um ihre Wärmeabsorption bei verschiedenen Dicken zu bestimmen, 500.
— Tabelle ihrer Absorption für Wärme, 506.
— und ihre Dämpfe, Ordnung ihrer Absorption für Wärme, 510, 514.
Flüssigwerden des Eises durch Reibung, 22.
— durch Druck, 125.
Forbes, J. D., seine Zähigkeitstheorie des Eises, 235.
— Gesetz für die Bewegung der Gletscher, Anhang zu Kap. VI, S. 250.
Fortführung der Wärme erklärt, 221.
— Beispiele, 222.
— durch Wasserstoff, 293.
Frankland, Dr., Versuche über Verbrennung, 56.
Fraunhofer'sche Linien, 581.
Frost, Mittel um Pflanzen gegen denselben zu schützen, 559.
— Ursache dieser Wirkung, 559.
Fuss-Pfund, Erklärung, 38.

G.

Galvanometer, beschrieben, 3.
— Anmerkung über die Construction desselben, Anhang zu Kap. I, S. 24.
— Eigenthümlichkeiten bei grossen Ablenkungen, 378.

Galvanometer, Melloni's Methode, dasselbe zu graduiren, Anhang zu Kap. X, S. 450.
Gase, ihre Constitution, 62, 65.
— Geschwindigkeit ihrer Theilchen, 64.
— Ausdehnung durch die Wärme, 67.
— specifische Wärme der einfachen und zusammengesetzten Gase, 169 u. f.
— Leitungsfähigkeit derselben, 291.
— erste Versuche über ihre Absorption für Wärme, 372.
— verbesserte Versuchsmethode, 387.
— ungleiche Fähigkeit, Bewegung vom Aether anzunehmen oder Ungleichheit in der Absorption, 397, 412.
— ungleiche Fähigkeit, Bewegung dem Aether mitzutheilen oder Ungleichheit in der Ausstrahlung der Gase, 413.
— Tabelle der dynamischen Ausstrahlung der Gase, 455.
— Ausdehnungscoëfficient derselben, 69.
— sie absorbiren die Strahlen, die sie ausstrahlen, 411.
Gas, kohlensaures, das Verdunsten desselben aus dem Sodawasser verzehrt Wärme, 16.
Gasförmiger Zustand der Materie, 60.
Gassiot, zersprengt eiserne Cylinder, 99.
Gefrieren, Wirkung auf Wasserleitungsröhren, 100.
— des Wassers, hervorgerufen durch seine eigene Verdampfung, 187.
Gefrierpunkt, Erniedrigung durch Druck, 123.
Geradlinige Bewegung der Atome eines Gases, 65.
Gerüche, ihre Wirkung auf strahlende Wärme, 435.
Geschwindigkeit der Planeten und Aërolithen, 12.
— Beziehung der Wärme zu derselben, 42.
Geyser, seine Geschichte, 151.
— der grosse auf Island, Beschreibung, 142.
Geyser, Bunsen's Theorie, 145.
— dargestellt in der Vorlesung, 148.
Glaisher, Tabelle über die nächtliche Ausstrahlung, 562.
Glas, warum es durch heisses Wasser springt, 105.
— zerbricht durch ein Quarzkorn, 106.
— Undurchlässigkeit für Wärme, 349.
— Absorption von Wärme bei verschiedenen Dicken, 356.
— Feuerschirme von, Nutzen und Wirkung derselben, 363.
Glasthränen, 106.
Gletscher, Bildung, 228.
— Bewegung, 229.
— Ort der schnellsten Bewegung, 229.
— ihre tägliche Bewegung, 229.
— Zähigkeitstheorie derselben, 230.
— Regelationstheorie, 232.
— Spuren alter Gletscher an verschiedenen Orten, 236 u. f.
— Hypothesen, um dieselben zu erklären, 239 u. f.
— Kälte allein kann sie nicht gebildet haben, 240.
— die Gesetze ihrer Bewegung bestimmt, Anhang zu Kap. VI, S. 250.
Glocke, ihre Bewegung beim Anschlagen mit dem Hammer geht nicht verloren, 23.
Gmelin, seine Definition der Wärme, 17.
Golfstrom, 223.
Gore's Versuche mit rollenden Kugeln, 118.
Graduiren des Galvanometers, Melloni's Methode, Anhang zu Kap. X, S. 450.
Gravitation, die einem Körper durch dieselbe mitgetheilte Geschwindigkeit, 44.
Gyps, schlechte Wärmeleitung durch gepulverten Gyps, 285.

H.

Harmonika, chemische, 301.
Helmholtz, Berechnung der Wärme, die durch das Aufhören der Bewegung der Erde entwickelt werden würde, 46.

Helmholtz, Bemerkungen über die Erschöpfung der mechanischen Kraft unseres Sonnensystems, 608.
Herschel, Sir William, Entdeckung der dunklen Streifen des Spectrums, 311.
— Sir John, Bemerkungen über Steinsalz, 373, Anmerkung.
— — Messungen über Sonnenausstrahlung, 585.
Himmel, seine Farbe, 496.
Höhe, Einfluss derselben auf Verbrennung, 55.
— Höhe eines Tones, Ursache derselben, 316.
Holz, schlechte Leitungsfähigkeit desselben, 255.
— Unterschied der Leitungsfähigkeit in demselben, 259, 269.
— Apparat, um die Wärmeleitungsfähigkeit desselben zu bestimmen, 260.
— drei Axen der Leitungsfähigkeit in demselben, 271.
— faser, Leitungsfähigkeit für Wärme, 271.
Humboldt, über die Kälte von Mittel-Asien, 492.
Huyghens, Theorie des Lichts, 303.

I.

Ingenhousz, Versuche über die Wärmeleitung, 246.
Innere Arbeit durch Wärme geleistet, 160.
— — verschiedene Arten derselben, 168.
Intensität des Lichtes und der Wärme, Erklärung derselben, 534.
Irland, mehr Regen auf der westlichen als auf der östlichen Seite, 219.
— Spuren von alten Gletschern, 238.
Island, Geyser, 142.
Isothermen laufen von Nord nach Süd in England, 223.

J.

Jod, Diathermansie einer Lösung desselben in Schwefelkohlenstoff, 430.
Joule, Dr., Auszug aus einer Abhandlung, Anhang zu Kap. XIII, S. 641.
— Versuche über das mechanische Aequivalent der Wärme, 13, 84 u. f.
— Versuche über Wärme und Arbeit, 37.
— Wärmeerzeugung durch Magnetelektricität, 84.
— Versuche über die Verkürzung des Kautschuks durch Wärme, 111.
— Erklärung der Wärme der Meteoriten, 12.
— Versuche über die durch das Ziehen von Drähten erzeugte Kälte, 109.

K.

Kälte, Wirkung auf die thermoelektrische Säule, 4.
— hervorgerufen durch Verdünnung, 28.
— hervorgerufen durch das Spannen eines Drahtes, 109.
— eines Gemenges von Schnee und Salz, 184.
— erzeugt durch den Uebergang vom festen zum flüssigen Zustande, 182.
— — vom flüssigen zum gasförmigen Zustande, 186.
— — durch einen Strom von Kohlensäure, 189.
— Leitung derselben, 254.
— scheinbare Reflection der Kältestrahlen, 333.
Kaminschirme von Glas, Wirkung derselben, 363.
Kautschuk siehe Cautschuk.
Kerze, Verbrennung derselben, 50.
Kieselsäure, das Wasser des Geysers enthält sie und setzt sie ab, 143.
— bedeutende Leitungsfähigkeit der krystallisirten Kieselsäure, 273.
— geringe der pulverförmigen, 285.
Kleider, ihre Wirkung, 282.
Klima, Ursache der Feuchtigkeit des englischen, 215.
— Milde des europäischen, 215.
— Wirkung des Wasserdampfs auf dasselbe, 215, 492, 544.

Knoblauch, Erklärung einiger seiner Resultate, 548.
Körper, des Menschen, Ursache seines Widerstandes gegen hohe Temperaturen, 256.
Kohlenminen, Ursache der Explosionen in denselben, 289.
Kohlenoxyd, Tabelle der Absorption von Wärme durch dasselbe bei verschiedenem Druck, 411.
— Strahlung seiner Flamme durch kohlensaures Gas, 535.
— — durch ölbildendes Gas, 536.
— — durch den menschlichen Athem, 538.
Kohlensäure, durch Verbrennung erzeugt, 49.
— feste, Eigenschaften derselben, 190.
— Ausstrahlung und Absorption derselben, 414, 535.
Kohlenstoff, Wärmemenge bei Verbindung mit Sauerstoff, 179.
— Zusammenstoss seiner Atome mit Sauerstoff, 48.
— sie geben den Lampen ihr Licht, 52, 527.
Kopp, Bestimmung des cubischen Ausdehnungscoefficienten, Anhang zu Kap. III, S. 118.
Kraft der Wärme, Körper auszudehnen, 105.
Kraftvorrath, 154.
Kräfte, moleculare, lebendige Kraft derselben, 90, 157.
— polare, Wärme um dieselben zu überwinden, 168.
Kräuter, aromatische, Wirkung ihrer Gerüche auf strahlende Wärme, 439.
Kryophor oder Eisträger, 187.
Krystalle, Unterschied der Leitungsfähigkeit in verschiedenen Richtungen, 258.
— Ausdehnung derselben, 108.
— von Eis, 127.
— von Schnee, 225.
Kugel, Wärme erzeugt durch Vernichtung ihrer Bewegung, 45.

L.

Lampenruss, anomales Verhalten, 427.
Lampenruss, Durchgang der Wärmestrahlen durch denselben, 367, 428.
— Ausstrahlung desselben, 524.
Land- und Seewinde, Ursache derselben, 212.
Latente Wärme des Wassers, 26, 177, 240.
— — ihr mechanisches Aequivalent, 181.
— — der Flüssigkeiten, 182.
— — der Dämpfe, 186.
Lebendige Kraft erklärt, 154.
— — in Wärme verwandelt, 9.
— — potentielle oder Spannkraft erklärt, 154.
— — dynamische oder actuelle, desgl., 154.
— — die Summe der potentiellen und dynamischen lebendigen Kraft ist beständig, 155.
— — die ganze lebendige Kraft der Erde ist der Sonne zuzuschreiben, 609.
Lebenskraft sollte die Temperatur des Körpers constant erhalten, 257.
Leichtflüssiges Metallgemisch durch Rotation im magnetischen Felde geschmolzen, 36.
Leidenfrost, erste Beobachtung des sphäroïdalen Zustandes der Flüssigkeiten, 199.
Leiter, Entziehung von Wärme durch dieselben, 287.
— gute und schlechte, erklärt, 244.
Leitung der Kälte, Erklärung derselben, 254.
Leitung der Wärme, erklärt und gezeigt, 242.
— — nicht die gleiche in allen Substanzen, 244.
— — durch Metalle, 247.
— — Versuche von Ingenhousz, 246.
— — Despretz's Methode der Bestimmung, 247.
— — durch verschiedene Metalle, bestimmt durch Wiedemann und Franz, 247.
— — durch Krystalle, 258.
— — durch Holz in verschiedenen Richtungen, Tabelle, 259.
— — durch die Rinde von verschiedenen Bäumen, Tabelle, 272.
— — bei den Bestimmungen muss

man die specifische Wärme kennen. 279.
Leitung der Wärme durch Flüssigkeiten, 291.
— — durch Wasserstoffgas, 292, 295.
— — nicht immer dieselbe nach jeder Richtung, 258.
Leitungsfähigkeit der Metalle, Tabelle, 247.
— der Krystalle und des Holzes, 258 u. f.
— von Holz in drei Richtungen, Tabelle, 269.
— der Rinde von verschiedenen Bäumen, desgl. 272.
— der organischen Gewebe, desgl., 275, 277.
— von wollenen Geweben, desgl., 283.
— der Flüssigkeiten und Gase, 291.
Leslie, Würfel, Ausstrahlung desselben, 340, 524.
— Aethrioskop, 493.
— Erklärung seiner Beobachtungen, 494.
Leuchtende und dunkle Ausstrahlung, 370, und Anhang zu Kap. XII, S. 559.
Leuchtgas, Ausstrahlung einer Leuchtgasflamme, 526.
— Verbrennung desselben, 49.
— erleuchtende Kraft desselben, 53.
Licht, erzeugt durch Reibung von Quarz, 11.
— der Lampen, Ursache desselben, 49.
— des Leuchtgases vernichtet durch Beimischung von Luft, 52.
— Gesetz der Abnahme mit der Entfernung, 325.
— Theorieen des Lichtes, 303.
— Analogie des Tons mit demselben, 303.
— Fortpflanzung und Empfindung des Lichtes, 305.
— Reflection desselben, 322.
— Wirkung auf Chlor und Wasserstoff, 329.
— transversale Schwingungen desselben, 339.
Lichtäther, Durchgang von Licht und Wärme durch denselben, 305.
— er erfüllt jeden Raum und durchdringt alle Körper, 346.
— die Fähigkeiten, ihm Bewegung mitzutheilen und Bewegung von ihm anzunehmen, sind einander proportional, 343, 354, 415.
Lloyd, Dr., Tabellen über die Regenmengen in Irland, 217.
Locke, Ansicht über die Wärme, 20.
Luft, comprimirte, durch Ausdehnung abgekühlt, 15.
— Wirkung des Aufhörens der Bewegung, 16, 26.
— Compression von schwefelkohlenstoffhaltiger Luft, 25.
— Ausdehnung durch Wärme, 67.
— Ausdehnung bei constantem Druck, 69.
— Ausdehnung bei constantem Volum, 73.
— erwärmte, steigt in die Höhe, Beispiele davon, 68, 205.
— abkühlende Wirkung derselben, 292.
— Durchgang des Schalls durch dieselbe, 298.
— wird nicht durch den Durchgang von Wärme erwärmt, 364.
— Durchgang von Wärme durch trockene, 392.
— schwache dynamische Ausstrahlung derselben, 455.
— starke desgl., wenn die Luft durch Dämpfe gefirnisst ist, 458.
— Schwierigkeiten, vollkommen reine Luft zu erhalten, 390, 471.
— Wärmeabsorption der mit Feuchtigkeit gesättigten, 477, 485.
— feuchte, Absorptionstabelle bei verschiedenem Druck, 482.
— Grund der langsamen nächtlichen Abkühlung von Luft, 552.
— Unterschied zwischen klarer und trockner Luft, 492.
— Wärmeabsorption der Luft aus den Lungen, 538.
— Menge der Kohlensäure in der Luft aus den Lungen, 540.
Luftballon mit erhitzter Luft, 68.
Luftströme, Ursache derselben, 206.
— obere und untere in der Atmosphäre, 209.
Luftthermometer, steigt nicht durch Wärme, welche durch Luft und Glas gegangen ist, 362.

M.

Magnetisches Feld, scheinbare Zähigkeit desselben, 32.
Magnus, Versuche über Leitung der Gase, 291.
— Leitungsfähigkeit des Wasserstoffs, 294.
Materie, flüssiger Zustand derselben, 59.
— gasförmiger desgl., 60.
Materielle Theorie der Wärme, 17.
Maximum der Dichtigkeit des Wassers, 98.
Mayer, Dr., vergleicht bewegende Kraft mit Destillation, 9a.
— spricht die Beziehung zwischen Wärme und Arbeit aus, 37.
— Berechnung der Wärme, die durch das Aufhören der Bewegung der Erde erzeugt werden würde, 46.
— mechanisches Aequivalent der Wärme, 82.
— über die Dynamik des Himmels, 83, 602.
— Meteortheorie der Sonnenwärme, 602.
— Auszüge aus seinem Aufsatze über organische Bewegung, Anhang zu Kap. XIII, S. 642.
Mechanische Processe, Erzeugung von Wärme durch dieselben, 5.
— Arbeit, Verbrauch von Wärme dabei, 15.
— Theorie der Wärme, 20.
— Aequivalent der Wärme, 38.
— — Mayer's Bestimmungen desselben, 37, 81.
— — Joule's Bestimmungen, 37, 84.
Meidinger, Versuche über Ozon, 444, Anm.
Melloni, Methode, die Abnahme der Wärme mit dem Quadrat der Entfernung zu beweisen, 338.
— Untersuchungen über strahlende Wärme, 350.
— Tabelle der Durchlassung der Wärme durch feste Körper, 351.
— Tabelle der Durchlassung der Wärme durch Flüssigkeiten, 353.
— Fehlerquelle bei seinen Untersuchungen über die Durchlassung der Wärme durch Flüssigkeiten, 499.
Melloni, Theorie des Regens ohne Wolken, 495.
— Erklärung einiger seiner Resultate, 551.
— Vervollständigung der Theorie des Thaus, 565.
— Versuche über die Wärme der Mondstrahlen, 566.
Messing, Ausdehnung desselben durch Wärme, 103.
Metalle, gute Wärmeleiter, 245.
— schlechte Ausstrahler, 340.
— schlecht absorbirende Körper, 345.
— Wirkung ihrer schlechten Ausstrahlung, 558.
— Streifen in den Spectren ihrer Dämpfe, 568.
— Existenz von irdischen Metallen in der Sonne nachgewiesen, 583.
Meteore, das Zodiakallicht als Aggregat derselben, 47, 595, 603.
— Anzahl der in einer Nacht in Boston gesehenen Meteore, 594.
— Wärmemenge bei ihrem Zusammenstoss mit der Sonne, 596.
— Sonnenlicht und Wärme, möglicher Weise durch sie erhalten, 597.
Meteorologie, Absorption der Wärme durch Wasserdampf, angewendet auf die Phänomene derselben, 487 u. f.
Mitscherlich, Versuche über die Ausdehnung der Krystalle, 108.
Molekulare Bewegung, Wärme als solche erklärt, 20, 58, 242.
— — Kraft derselben, 99.
— — Berechnung der letzteren, 80.
— Kräfte, enorm gross, 99.
— Schwingungen eines Körpers intensiver, wenn er erwärmt ist, 58.
— Wirkungen im Holz, 271.
Mond, Versuche über seine Wärme, 566.
— seine dunkle Wärme durch unsere Atmosphäre aufgefangen, 566.
Mondblindheit, Ursache derselben, 559.
Mondstrahlen, Ursache ihrer Fäulniss erregenden Kraft, 559.

Mongolfier stellt die Aequivalenz von Wärme und Arbeit auf, 37.
Moränen der alten Gletscher, auf denen die Cedern des Libanon wachsen, 238.
Mosely, eigenthümliche Wirkung der Ausdehnung von ihm beobachtet, 107.

N.

Nächtliche Ausstrahlung zur künstlichen Eisbildung benutzt, 560.
— Versuche darüber von Wells, Glaisher, u. A., 555, 562.
Natrium, gelbes Licht wird durch den Dampf desselben ausgestrahlt und absorbirt, 577, 579.
Natur, Mittel und Zweck in derselben, 102.
Naturforscher, sein Beruf, 102.
Newton, Ansicht über den Diamanten, 48.
— Theorie des Lichts, 303.
Novum Organum, Auszug aus dem zweiten Theil, Anhang zu Kap. II, S. 69.
Nullpunkt, Absoluter der Temperatur, 96.

O.

Ocean, sein Einfluss auf die Temperatur, 175.
Oelbildendes Gas, Athermansie desselben, 393, 421.
— — Tabelle der Absorption durch dasselbe bei verschiedenem Druck, 397, 536.
— — bei verschiedenen Volumen, 402.
— — seine Ausstrahlung, 414.
— — seine dynamische Ausstrahlung, 455.
— — zum Firniss von Metall benutzt, 457.
Organische Bewegung, Auszüge aus einem Aufsatze von Mayer, 83, und Anhang zu Kap. XIII, S. 642.
Organische Gebilde, Tabelle ihrer Leitungsfähigkeit, 275.
Ozon, Wirkung desselben auf strahlende Wärme, 441.
— Vermehrung desselben durch Verminderung der Grösse der Elektroden, 443.
— seine wahrscheinliche Zusammensetzung, 445.

P.

Parabolische Spiegel Reflexion des Lichts und der Wärme von denselben, 328 u. f.
Passatwind, oberer und unterer, 206.
Photosphäre der Sonne, ihre Wirkung auf die Sonnenstrahlen, 582.
Physikalische Analyse des menschlichen Athems, 540.
— Eigenschaften des Eises, Auszüge aus einem Aufsatze darüber, Anhang zu Kap. IV, S. 169, und zu Kap. IX, S. 392.
— Grundlage der Sonnenchemie, eine Vorlesung darüber, Anhang zu Kap. XIII, S. 633.
Planeten, Umdrehungsgeschwindigkeit der kleineren, 12.
— Wärme, die durch ihren Fall in die Sonne erzeugt wurde, oder wenn ihr Umfauf aufhörte, 604.
Platinlampe, 502.
Polare Kräfte, Wärme, um sie zu überwinden, 168.
Potentielle Energie, 154.
Pouillet, seine Versuche über die Temperatur der Luft und der Eiderdaunen, 564.
— Messung der Sonnenausstrahlung, 585, ihrer theilweisen Absorption durch unsere Atmosphäre, 588.
— Pyrheliometer, 585.
Prevost's Theorie des Austausches, 319.
Pyrheliometer, seine Anwendung und Beschreibung, 585.
Pyrometer, 104.

Q.

Qualität der strahlenden Wärme, Definition derselben, 360, 518, 534.

Quarz, durchsichtiger und Rauchquarz lassen gleiche Wärmemengen hindurch, 351.
Quecksilber, geringe specifische Wärme desselben, 163.
— gefriert durch feste Kohlensäure, 192.
— in einem rothglühenden Tiegel erstarrt, 203.

R.

Reflexion von Licht und Wärme gehorchen denselben Gesetzen, 323.
Regelation, Entdeckung derselben durch Faraday, 232.
— von Schneekörnchen, Anm. zu Kap. VI, S. 260.
Regen ohne Wolken, Melloni's Theorie, 495.
— Ursache der Regenschauer in den Tropen, 214.
— menge, grösser an der West- als an der Ostküste von Irland, 217.
— Dr. Lloyd's Tabelle darüber für Irland, 217.
— Ort, wo die grösste Menge fällt, 220, Anm.
— Ursache hiervon, 220.
Reibung, Erzeugung von Wärme durch dieselbe, 6.
— gegen den Raum, Wärme erzeugt durch dieselbe, 30.
Rendu, plastische Theorie des Eises, 235.
Rumford, Graf, seine Versuche über Erzeugung von Wärme durch Reibung, 13 und Anhang zu Kap. II, S. 71.
— sie stossen die materielle Theorie der Wärme um, 20.
— Auszug aus seiner Untersuchung über den Ursprung der Wärme, Anhang zu Kap. II, S. 71.
— seine Schätzung der erwärmenden Kraft eines Körpers, 179.
— Versuche über die Leitungsfähigkeit der Kleidung, 283.
— — der Flüssigkeiten und Gase, 291.
— — über die Durchlassung von Wärme durch ein Vacuum, 297.

S.

Salz und Zucker erzeugen bei der Auflösung Kälte, 183.
— gewöhnliches, gelbe Strahlen werden durch seinen Dampf ausgestrahlt und absorbirt, 413.
Sauerstoff, Zusammenstoss seiner Atome mit Kohlenstoff, 48; mit Wasserstoff, 180.
— Geschwindigkeit seiner Theilchen, 64.
— seine geringe Absorptionsfähigkeit für Wärme, 392, 421.
Säule, thermo-elektrische, ihre Construction und ihre Anwendung, 2, und Anhang zu Kap. I, S. 22.
Schaffgotsch, Graf, Abhandlung über akustische Versuche, Anhang zu Kap. VIII, S. 352.
Schall, longitudinale Schwingungen desselben, 339.
— seine Analogie mit Wärme und Licht, 305.
— Fortpflanzung durch die Luft, 300, 315.
Schmelzpunkt, Wirkung des Drucks auf denselben, 121.
Schnee von Kohlensäure, 189.
— -Krystalle, 225.
— -Grenze, 226.
— -Bildung der Gletscher durch denselben, 227.
— -Ball, Ursache seiner Festigkeit, 233.
— -Brücken, wie man sie überschreitet, 233.
— zu Eis gepresst, 234.
Schneefall, erzeugt durch Ausströmen von zusammengepresster Luft, 29.
Schneekörner, Anmerkung über das Zusammenfrieren derselben, Anhang zu Kap. VI, S. 260.
Schwartz, Beobachtungen über den Ton bei der Abkühlung von Silber, 113.
Schwefeläther, Ursache der Kälte bei seiner Verdunstung, 186.
— Absorption der Wärme durch seinen Dampf bei verschiedenem Druck, 404, 433.

Schwefelkohlenstoff, Entzündung des Dampfes durch Zusammendrückung, 25.
— Bemerkung über die Zusammendrückung schwefelkohlenstoffhaltiger Luft, Anhang zu Kap. II, S. 75.
— Durchlässigkeit desselben für Wärme, 348, 353, 433, 507.
Schwefelsäure, benutzt um Gase zu trocknen, 390.
Schwefelsaures Natron, durch seine Lösung wird Kälte erzeugt, 185.
— durch seine Krystallisation wird Wärme erzeugt, 185.
Schweiz, augenscheinliche Beweise alter Gletscher, 236.
Schwingungsdauer bestimmt die Qualität der von den Körpern ausgestrahlten Wärme, 518.
— von Ameisen- und Schwefeläther, 524.
— einer Wasserstoffflamme, 547.
— Verkürzung derselben, 547.
— Wärme und Licht unterscheiden sich nur durch dieselbe, 517.
— Einfluss derselben auf die Absorption, 517.
Schwingungen erwärmter Metalle, 113.
— von Körpern von verschiedener Temperatur, Auszug aus einer Vorlesung darüber, Anhang zu Kap. IV, S. 164.
— tönender Platten, 299.
See, wärmer nach einem Sturm, 8.
— Brise, Ursache derselben, 212.
Séguin, Aequivalenz zwischen Wärme und Arbeit, 37.
Selenit, Absorption der Wärme durch verschiedene Dicken, 358.
Sénarmont, Versuche über die Leitung der Wärme durch Krystalle, 258.
Sicherheitslampe, Erklärung und Nutzen derselben, 290.
Sieden von Wasser durch Reibung, Rumford's Versuche, 13, und Kap. II, S. 71.
— Grund hiervon, 135.
Siedepunkt des Wassers, derselbe steigt, wenn es von Luft befreit wird, 132.
— richtige Erklärung desselben, 137.
Siedepunkt, derselbe sinkt beim in die Höhe steigen, 138.
— auf der Spitze des Mt. Blanc, Mt. Rosa u. s. w., 138.
— derselbe hängt vom äusseren Druck ab, 139.
Sonne, wahrscheinliche Ursache der Fortdauer ihrer Wärme und ihres Lichtes, 47, 597.
— Erzeugung der Winde durch ihre Wärme, 206.
— erwärmt trockene Luft nicht merklich, 364.
— Beschaffenheit derselben, 581.
— Flammenatmosphäre, die sie umgiebt, 582.
— und Planeten, gleicher Ursprung derselben, 583.
— erwärmende Kraft derselben, Messungen von Herschel und Pouillet, 585.
— Methode, um die Ausstrahlung derselben zu bestimmen, 586.
— atmosphärische Absorption ihrer Wärme, 588.
— totale Wärmemenge, die sie ausstrahlt, 589.
— alle organische und unorganische lebendige Kraft ist auf sie zurückzuführen, 609, 623.
— kleiner Theil ihrer Wärme, der alle irdische Kraft erzeugt, 626.
Sonnenspectrum, Grund der dunkeln Linien in demselben, 581.
— Chemie, eine Vorlesung über die physikalische Grundlage derselben, Anhang zu Kap. XIII, S. 633.
Specifische Wärme der Körper, Bestimmungsmethode, 165.
— — elementarer Körper, 165.
— — einfacher und zusammengesetzter Gase, 169 u. f.
— — des Wassers, die höchste; Folgen daraus, 174.
— — die Leitungsfähigkeit eines Körpers verdeckend, 279.
Spectra von Zink, Kupfer etc. 570.
Spectrum, Wärme des nicht leuchtenden nachgewiesen, 311 und Anhang zu Kap. XII, S. 548.
— Darstellung des nicht leuchtenden, 432.

Spectrum, Ursache der dunkeln Linien im Sonnenspectrum, 581.
— von weissglühender Kohle, 568.
— der festen Körper, ähnlich dem letztern, 568.
Sphäroidaler Tropfen auf seinem Dampf schwebend, 195.
— — er ist nicht in Berührung mit dem Gefässe, 197.
— Zustand der Flüssigkeiten, 193 u. f.
— Bedingungen dafür, erster Beobachter desselben, 199.
Spirale von Platindraht, erwärmt durch den elektrischen Strom, Ausstrahlung derselben, 522, 547.
Springquellen, siedende, in Island, 142.
Steinsalz, Durchlässigkeit desselben für Wärme, 349, 361.
— seine Anwendung bei Versuchen über Absorption von Wärme durch Gase, 373.
— hygroskopischer Charakter desselben, 471.
— Niederschlag von Feuchtigkeit auf dasselbe vermieden, 472.
— Zelle, beschrieben, 500.
Sternschnuppen, Theorie, 11.
Stickoxyd, Absorption und Ausstrahlung, 414.
— seine dynamische Ausstrahlung. 455.
— Streifen im Spectrum durch dasselbe erzeugt, 575.
Stickstoff, Geschwindigkeit seiner Theilchen, 64.
Stoss, Wärme durch denselben erzeugt, 8.
Strahlende Wärme, Erklärung derselben, 306.
— — und Licht, Analogie zwischen beiden, 306.
— — ausgegeben von allen Körpern, 319.
— — ihre Gesetze sind dieselben wie die des Lichtes, 323.
— — Reflexion und Brechung der Strahlen derselben, 326.
— — Gesetz des umgekehrten Quadrats auf sie übertragen, 388 u. f.
— — ihr Ursprung und ihre Verbreitung, 339.
Strahlende Wärme, Apparat für ihre Untersuchung beschrieben, 372 — 391.
— — Absorption derselben durch Gase, 418.
— — Absorption derselben durch Dämpfe, 433, 522.
— — Wirkung der Wohlgerüche auf dieselbe, 437.
— — Gegenstand der Untersuchungen über dieselbe, 497.
Strokkur, Nachahmung desselben, 149.
Stürme, durch erhitzte Luft erzeugt, 205.

T.

Temperatur, wie erträgt man hohe, 256.
— Thau, durch ihr Sinken erzeugt, 555.
— Einfluss derselben auf die Qualität der von einem Körper ausgestrahlten Wärme, 518.
— — auf die Durchlassung der Wärme, 522.
— Schwierigkeit, die wahre Temperatur zu bestimmen, 558.
— absoluter Nullpunkt derselben, 96.
— ihr Einfluss auf die Leitung der Elektricität, 252.
Teneriffa, Pik, zwei Windesrichtungen auf demselben, 215.
Thau, Versuche und Theorie von Dr. Wells, 553 u. f.
— eine ruhige Nacht für die Bildung erforderlich, 563.
— Grund des Niederschlags, 557.
Theilchen, Anstösse derselben bewirken das Gefühl von Wärme, 65.
— die Bewegung der letzten Theilchen erzeugt Wärme, 20.
Theorie des Austausches von Prévost, 319.
Thermische Wirkung durch das Aufhören von Bewegung erzeugt, 24, 39.
Thermo-elektrische Säule, 2.
— — Anmerkung über ihre Construction, Anhang zu Kap. 1, S. 22.

Thermo-elektrische Säule, Anwendung zu Untersuchungen über strahlende Wärme, 307.
Thermometer, Construction, Anhang zu Kap. III, S. 119.
Thierische Substanzen, Tabelle der Leitungsfähigkeit derselben, 275, 277.
Thomson, Wm., über die Erdrinde, 101.
— seine Vermuthung, dass Kautschuk durch Wärme kürzer wird, 111.
— Meteortheorie der Sonne, 47.
— Tabelle der lebendigen Kräfte des Sonnensystems, 604.
Thomson, James, über den Einfluss des Druckes auf den Schmelzpunkt, 124.
Ton, erzeugt durch die Flamme, 301.
— Verwandlung der Wärme in denselben, 114.
Töne, unhörbare, 318.
— musikalische, durch die Gasflamme in Röhren erzeugt, 301, und Anhang zu Kap. VIII, S. 342.
Tönende Flammen, 301.
— — Aufsatz darüber, Anhang zu Kap. VIII, S. 342.
Transpiration, Nutzen in heissen Klimaten, 256.
Trevelyan, Instrument, 113.
— Ursache der Schwingungen desselben, 115.
— Auszug aus einer Vorlesung über dasselbe, Anhang zu Kap. IV, S. 164.
Trockenröhren, Schwierigkeit, sie brauchbar zu erhalten, 390, 471.
Tropen, Luftströme nach und von denselben 211.
— die Region der Calmen oder Regen, 214.
— Ursache der Regenschauer in denselben, 488.

U.

Ultrarothe und ultraviolette Strahlen, 313.
Undulationstheorie, 304.

V.

Vacuum im Mittelpunkte der Eisblumen, 128, und Anhang zu Kap. IX. S. 401.
— Durchgang der Luft durch dasselbe, 297.
— trockene Luft verhält sich gegen strahlende Wärme wie dasselbe, 392.
Verbindungen, gute Absorbenten und Ausstrahler, Grund davon, 424.
Verbrennung, Wirkung der Höhe auf dieselbe, 55.
— Dr. Frankland's Abhandlung darüber, 56.
— Theorie derselben, 57.
— Ueber Töne bei Verbrennung von Gasen in Röhren, Anhang zu Kap. VIII, S. 342.
Verdichtung, Gefrieren und Verbindung, mechanischer Werth dieser Processe beim Wasser, 181.
— Wirkung derselben auf die specifische Wärme, 171.
— von Wasserdampf in den Tropen, Grund davon, 488.
— durch Berge, 491.
— und Gefrieren befördert durch Wasser in seinen verschiedenen Zuständen, 491.
Verdunstung ruft Kälte hervor, 186.
— Wasser erstarrt durch dieselbe, 187.
Verdünnung, abkühlende Wirkung derselben, 27.
— kann nicht für sich allein die mittlere Temperatur erniedrigen, 94.
Volumen des Dampfes, welche den Gewichten der Flüssigkeiten proportional sind, Tabelle, 512.
— eines Gases, durch Wärme vermehrt, 66 u. f.
Vulkanische Eruptionen, zeigen obere Luftströmungen an, 209.
— Ausbruch des Morne Garou, 210.

W.

Wärme, erzeugt durch mechanische Processe, 5.
— — durch Reibung, 6, 13
— — durch Druck, 7.
— — durch Stoss, 8.
— — durch Fallen von Quecksilber oder Wasser, 8.
— Verbrauch derselben bei Erzeugung von Arbeit, 15.
— ihre Natur, 17, 20, 61.
— sie ist eine Bewegung der letzten Theilchen, 20.
— nach der Ansicht von Locke, 20.
— — von Baco, 20.
— — von Rumford, 13, 23.
— — von Davy, 23.
— entwickelt durch Zusammenpressung der Luft, 25.
— — durch Aufhalten der Bewegung der Luft, 16, 27.
— — durch Rotation im magnetischen Felde, 36.
— mechanisches Aequivalent derselben, 38, 75, 91.
— proportional der Höhe, von der ein Körper fällt, 40.
— Beziehung zur Geschwindigkeit, 42, 46.
— zerstört die Cohäsion, 59.
— Reibungswärme, Rumford's Arbeit über die Quelle derselben, Anhang zu Kap. II, S. 71.
— Ausdehnung der Gase durch dieselbe, 67.
— Ausdehnung der festen Körper, 103.
— die einem Gas bei constantem Druck mitgetheilt wird, 69.
— desgl. bei constantem Volum, 73.
— durch Ausdehnung von Kautschuk erzeugt, 110.
— direkte Umwandlung derselben in mechanische Bewegung, 117.
— durch Elektricität entwickelt, 118, 251.
— Vollbringung von Arbeit durch Wärme in der Dampfmaschine, 140.
— Kraft derselben, Körper auszudehnen, 157.
Wärme, zwei Arten von Bewegung in den Körpern durch die Wärme erzeugt, 159.
— verbraucht, um die Atome von einander zu reissen, 158, 189.
— erzeugt durch zusammenfallende Atome, 160.
— Menge, die von verschiedenen Körpern beim Abkühlen abgegeben wird, 164.
— specifische, 165 u. f.
— bewirkt eine Aenderung des Aggregatzustandes in den Körpern, 176.
— latente, des Wassers und des Wasserdampfes, 176 u. f., 240.
— Definition derselben, 177.
— erzeugt beim Uebergang vom flüssigen zum festen Zustand, 185.
— Ursache der gleichmässigen Vertheilung, 215, 223.
— Fortführung derselben, 221.
— nöthig zur Hervorbringung von Gletschern, 241.
— Unterschied zwischen ihr und gewöhnlicher Bewegung, 242.
— -Leitung, erklärt und erläutert, 243.
— — nicht gleich in jeder Substanz, 244.
— Methode, um die Leitungsfähigkeit der Körper zu bestimmen, 247.
— und Elektricität, Verwandtschaft derselben, 250.
— Bewegung stört die Bewegung der Elektricität, 252.
— Verwandlung in lebendige Kraft, 256
— Unterschied der Leitungsfähigkeit in Krystallen und Holz, 258 u. f.
— Fortpflanzung durch Holz, 255, 269.
— Leitung derselben, abhängig von dem mechanischen Zustande des Körpers, 285.
— zweifelhafte Leitung durch Wasserstoffgas, 294.
— ihr Durchgang durch ein Vacuum, 297.
— Analogie mit dem Schall, 302.
— welchem Stoff ihre Bewegung mitgetheilt wird, 306.
— strahlende, 306.
— -Strahlen, jenseits des sichtbaren Spectrums, 311.

Wärme, sie gehorcht denselben Gesetzen wie das Licht, 323.
— Wirkung auf Sauerstoff und Wasserstoff, 330.
— Gesetz der umgekehrten Quadrate, für dieselbe gültig, 337.
— transversale Schwingungen der Wellen der Wärme, 339.
— Qualität derselben, 360.
— Fortpflanzung durch undurchsichtige Körper, 367.
— Wirkung auf Eis, 366.
— Absorption durch Gase, erste Versuchsmethode, 372.
— — Mittel, um genau die absorbirte Menge zu erfahren, 386.
— — durch Gase; verbesserter Apparat, 387.
— freier Durchgang durch trockene Luft, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff, 419.
— Tabellen der Absorption durch Gase und Dämpfe, 414, 418, 421, 433, 437, 439, 522.
— -Spectrum, getrennt vom leuchtenden, 432.
— Absorption und Ausstrahlung eines Gases oder Dampfes, ohne äussere Wärme bestimmt, 449.
— Absorption durch Wasserdampf, 470 u. f.
— nächtliche Ausstrahlung, die Ursache des Thaus, 557 u. f.
— -Menge, erzeugt durch den Stoss der Meteore auf die Sonne, 596.
— entwickelt durch die Reibung der Ebbe- und Fluthwelle, 600.
— Quelle dieser Wärme, 601.
Wärme und Kälte, entgegengesetzte Wirkungen auf die thermoelektrische Säule, 4.
Wärmecapacität verschiedener Körper, 18.
— Erläuterung der Bestimmungsmethoden derselben, 165.
Wärmeleitung von Holz nach den drei Axen, 271.
— von Flüssigkeiten, 291.
Wärmende Kraft eines Körpers, Rumford's Schätzung, 179.
Wärmestoff, seine Nichtexistenz von Rumford und Davy bewiesen, 20, 22.
Wasser zum Sieden gebracht durch Reibung, 13, und Anhang zu Kap. II, S. 73.
— dehnt sich durch Wärme aus, 98.
— Menge desselben, die durch die totale Ausstrahlung der Sonne zum Sieden gebracht würde, 590.
— Ursache seiner Härte, 286.
— Ursache seiner Durchsichtigkeit für das Licht, 542.
— — seiner Undurchlässigkeit für die Wärme, 542.
— Absorption der Wärme einer Wasserstoffflamme bei verschiedenen Dicken, 542.
— Folgen seiner hohen specifischen Wärme, 174.
— latente Wärme desselben, 177.
— mechanischer Werth der Verbrennung seiner Elemente, der Verdichtung und des Gefrierens desselben, 181.
— seine Verdampfung erzeugt Kälte, 186.
— erstarrt durch seine eigene Verdampfung, 187.
— sphäroidaler Zustand desselben, 193 u. f.
— gefroren in rothglühenden Tiegeln, 202.
— Undurchlässigkeit desselben für Wärme, 348, 507.
— destillirtes, Farbe, 355.
— Wirkung seines Strahlungsvermögens in all seinen Zuständen, 491.
— absorbirt dieselben Strahlen im festen, flüssigen und gasförmigen Zustande, 365, 496, 544.
— dehnt sich durch Kälte aus, 98.
— Maximum der Dichtigkeit desselben, 98.
— Zusammenziehung desselben durch Wärme, 98.
— Leitungsröhren, weshalb sie springen, 100.
— Cohäsion desselben, vermehrt durch die Entfernung der Luft, 131 u. f.
— Verhalten desselben bei sehr starker Cohäsion, 132.
— früher als nicht zusammendrückbar angesehen, 157.

Wasser, Baco's Versuch über die Zusammendrückbarkeit desselben, 157, Anm.
— Wärmemenge, welche es beim Abkühlen um 1° abgiebt, 163.
— hat die grösste specifische Wärme, 165.
— Arbeitsmenge, welche der Erwärmung um 1° äquivalent ist, 167.
Wasserdampf, niedergeschlagen durch Verdünnung der Luft, 28.
— Grund des Niederschlags in England, 215.
— Nutzen desselben in unserem Klima, 215, 492, 544.
— geringer Niederschlag im Osten von Irland, 217.
— Natur des Wasserdampfs, 467.
— Menge desselben in der Atmosphäre, 469.
— Wirkung auf strahlende Wärme 470 u. f., 515 und Anhang zu Kap. XI, S. 498.
— Absorption durch denselben in Luft von verschiedenen Orten, 480a.
— Einwürfe gegen diese Versuche beantwortet, 472, 474, 484.
— Grund der reichlichen Niederschläge desselben in den Tropen, 488.
— Wirkung der Entfernung desselben aus der Atmosphäre von England, 492.
— er absorbirt dieselben Strahlen, wie das Wasser, 496, 544.
Wasserhammer, 131.
Wasserstoff, Charakter seiner Ausstrahlung, 547.
— Zusammentreffen seiner Atome mit Sauerstoff, 49.
— Geschwindigkeit seiner Theilchen, 64.
— Wärmemenge, erzeugt durch Verbindung mit Sauerstoff bei der Bildung des Wassers, 179.
— abkühlende Wirkung auf erwärmte Körper, 293.
— geringe Absorptionskraft, 392, 421.
— Flamme, Strahlung durch Flüssigkeiten und Dämpfe, 530, 531, 542 547.
Waterston, Meteortheorie der Sonne, 47, 603.
Welle der Ebbe und Fluth, die Schnelligkeit der Rotation der Erde wird durch sie vermindert, 601.
Wellen des Schalls, 316.
— des Lichtes, 317.
— der Wärme und des Schalls, Unterschied zwischen beiden, 339.
Wells, Dr., seine Theorie des Thaus, 553 u. f.
— viele eigenthümliche Wirkungen durch ihn erklärt, 559.
Widerstand, Wärmeerzeugung durch den elektrischen Strom, demselben proportional, 251.
Wiedemannn und Franz, Tabelle der Leitungsfähigkeiten, 247.
Winde, Auslöschen der Gasflammen durch dieselben, 54.
— erzeugt durch die Sonne, 206.
— Passat-, 206.
— Richtung derselben, durch die Rotation der Erde beeinflusst, 207.
— untergeordnete; Ursache derselben, 212.
Winkelgeschwindigkeit des zurückgeworfenen Strahles erklärt, 323.
Wipper, im Trevelyan-Instrument, 114.
Wismuth, Ausdehnung desselben beim Abkühlen, 102.
Wohlgerüche, wie sie sich ausbreiten, 62.
— Tabelle der Absorption der Wärme durch dieselben, 437.
Wolken, Ursache ihrer Entstehung, 489.
— Beschaffenheit derselben, 224.
Wollaston, Dr., Kryophor, 187.
— Linien im Sonnenspectrum, 391.
Wollene Zeuge, unvollkommene Leitung derselben, 283.

Y.

Young, Dr. Thomas, Begründung der Schwingungstheorie, 13, 204.

Z.

Zähigkeitstheorie des Eises, 230.
Zink, Streifen seines Dampfes im Spectrum, 569.
Zodiakallicht, wahrscheinliche Ursache desselben, 47, 595, 603.
Zusammenfrieren von Eisstücken, 231.
Zusammenstoss von Atomen, Erzeugung von Wärme und Licht dabei, 57.
Zusammenziehung, gewöhnlich das Resultat des Erstarrens, 120.
— von Kautschuk durch Wärme, 211.





